passages à niveau

Transports Canada
Transport Canada
Canada

103-04774/

TP 13938F

UNE ANALYSE DES FACTEURS HUMAINS DANS LES ACCIDENTS AUX PASSAGES À NIVEAU AU CANADA

Préparé pour le
Centre de développement des transports
Transports Canada

par le
Laboratoire de recherche en ergonomie cognitive
Département de psychologie, Université de Calgary

Septembre 2002

TP 13938F

UNE ANALYSE DES FACTEURS HUMAINS DANS LES ACCIDENTS AUX PASSAGES À NIVEAU AU CANADA

par

J.K. Caird, J.I. Creaser, C.J. Edwards et R.E. Dewar
Laboratoire de recherche en ergonomie cognitive
Département de psychologie
Université de Calgary

Septembre 2002

Les points de vue exprimés par les auteurs dans le présent rapport ne sont pas nécessairement ceux du Centre de développement des transports de Transports Canada ou des organismes de parrainage.

Les organismes parrains ne font pas la promotion de produits ou de fabricants. Ce n'est que pour servir les objectifs essentiels à ce rapport qu'on y mentionne des appellations commerciales ou noms de fabricants.

Étant donné que dans l'industrie certaines des unités de mesure reconnues sont anglo-saxonnes, le présent rapport n'emploie pas toujours des unités de mesure métriques.

PARTENAIRES FINANCIERS

Programme de recherche sur les passages à niveau de Direction 2006

Transports Canada

Association des chemins de fer du Canada

Canadien National

Canadien Pacifique

VIA Rail Canada Inc.

Alberta Transportation

Ministère des Transports du Québec

This report is also available in English under the title «*A Human Factors Analysis of Highway-Railway Grade Crossing Accidents in Canada*», TP 13938E.

Transports Canada Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue du destinataire
TP 13938F	5027	

4. Titre et sous-titre

Une analyse des facteurs humains dans les accidents aux passages à niveau au Canada

5. Date de la publication

Septembre 2002

6. N° de document de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)

J.K. Caird, J.I. Creaser, C.J. Edwards et R.E. Dewar

8. N° de dossier - Transports Canada

ZCD2450-D-718-13-2

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant

Laboratoire de recherche en ergonomie cognitive
Département de psychologie
Université de Calgary
Calgary, Alberta
Canada T2N 1N4

10. N° de dossier - TPSGC

MTB-0-02198

11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada

T8200-000552/001/MTB

12. Nom et adresse de l'organisme parrain

Centre de développement des transports (CDT)
800, boul. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec)
H3B 1X9

13. Genre de publication et période visée

Final

14. Agent de projet

S. Vespa et P. Lemay

15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

Coparrainé par les partenaires financiers du Programme de recherche sur les passages à niveau de Direction 2006 : Association des chemins de fer du Canada, Canadien National, Canadien Pacifique, Via Rail Canada Inc., Alberta Transportation et le ministère des Transports du Québec

16. Résumé

Au cours des dix dernières années, on a dénombré, au Canada, une moyenne de 316 accidents aux passages à niveau (sans compter les accidents mettant en cause des piétons) et 38 décès (chez les occupants des véhicules automobiles) par année. L'objectif de ce projet était de cerner les facteurs humains qui entrent en jeu dans les accidents survenant aux passages à niveau et de recommander des contre-mesures qui tiennent compte des tendances observées.

Les panneaux et systèmes de signalisation existants ainsi que les technologies d'avant-garde ont été examinés sous l'angle de leur efficacité (c.-à-d., diminution des infractions, des accidents et du nombre de décès et de blessures) et de leur coût. Après une recherche documentaire exhaustive sur les facteurs humains en cause dans les accidents, les chercheurs ont développé une taxinomie des facteurs humains qui contribuent aux accidents aux passages à niveau, avec, comme grandes catégories : les agissements dangereux, les différences individuelles, la visibilité des trains, les signaux et marquages ambigus et les contraintes physiques. Cette taxinomie a été utilisée pour interroger la base de données sur les événements ferroviaires du Bureau de la sécurité des transports du Canada.

Les analyses quantitatives ont confirmé que dans l'ensemble, les accidents, ainsi que le nombre de décès et de blessures, sont en baisse. L'étude de plusieurs variables, dont des variables démographiques (âge, sexe), le type de véhicule, le type de passage à niveau (automatisé, non automatisé) et le moment (jour, mois) a mis en lumière un certain nombre de tendances que l'on pressentait. Les analyses qualitatives de rapports d'accident ont fait ressortir le rôle de certains actes intentionnels (p. ex., contourner les barrières) et de la distraction (p. ex., utiliser un téléphone cellulaire) dans les accidents. Le rapport se termine sur une série de conclusions et de recommandations qui soulignent l'apport du projet et rappellent les questions qui restent à approfondir.

17. Mots clés	18. Diffusion
Accidents aux passages à niveau, facteurs humains, erreur humaine, comportement des conducteurs, contre-mesures	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

19. Classification de sécurité (de cette publication)	20. Classification de sécurité (de cette page)	21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	—	xxv, 126, ann.	Port et manutention

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 13938F	5027	

4. Title and Subtitle	5. Publication Date
Une analyse des facteurs humains dans les accidents aux passages à niveau au Canada	September 2002
	6. Performing Organization Document No.

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
J.K. Caird, J.I. Creaser, C.J. Edwards, and R.E. Dewar	ZCD2450-D-718-13-2

9. Performing Organization Name and Address	10. PWGSC File No.
Cognitive Ergonomics Research Laboratory Department of Psychology University of Calgary Calgary, Alberta Canada T2N 1N4	MTB-0-02198
	11. PWGSC or Transport Canada Contract No.
	T8200-000552/001/MTB

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Publication and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 800 René Lévesque Blvd. West Suite 600 Montreal, Quebec H3B 1X9	Final
	14. Project Officer
	S. Vespa and P. Lemay

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

Co-sponsored by the funding partners of the Direction 2006 Highway-Railway Grade Crossing Research program: Railway Association of Canada, Canadian National Railway, Canadian Pacific Railway, VIA Rail Canada Inc., Alberta Transportation, and the ministère des Transports du Québec

16. Abstract

Over the past 10 years, an average of 316 highway-railway grade crossing accidents (not including pedestrian accidents) and 38 fatalities (i.e., vehicle occupants) have occurred each year in Canada. The purpose of this project was to identify human factors contributors to highway-railway grade crossing accidents and to recommend countermeasures based on common patterns of probable cause.

Current signs and signal systems and future technologies were reviewed in terms of effectiveness (i.e., reduction in violations, accidents, injuries and fatalities) and cost. Based on an extensive literature review of human factors crash contributors, a taxonomy of highway-railway grade crossing accident contributors was developed with the primary categories of unsafe actions, individual differences, train visibility, problematic signs and markings, active warning systems, and physical constraints. The taxonomy was used to guide queries of the Transportation Safety Board of Canada's Rail Occurrence Database System.

Quantitative analyses confirmed that overall, accidents, injuries and fatalities are declining. Several demographic (e.g., age, gender), vehicle type, crossing type (i.e., passive, active) and time (day, month) variables revealed a number of expected accident patterns. Qualitative analyses of accident narratives indicated that varieties of intentional acts (e.g., drove around gates) and distraction (e.g., talking on cell phone) were accident contributors. A series of conclusions and recommendations highlight project contributions and knowledge gaps.

17. Key Words	18. Distribution Statement
Highway-railway grade crossing accidents, human factors, human error, driver behaviour, countermeasures	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	—	xxv, 126, app	Shipping/ Handling

REMERCIEMENTS

Une partie de la taxinomie (section 4) et des analyses quantitatives (section 6) a été présentée au Troisième atelier annuel sur la recherche sur les passages à niveau qui s'est tenu à Montréal, le 26 novembre 2001. Les auteurs souhaitent remercier Nathalie Lewis pour nous avoir donné généreusement accès à la base de données sur les événements ferroviaires, Maury Hill et Beth McCullough pour l'appui obtenu du Bureau de la sécurité des transports du Canada, et Ling Suen et Sesto Vespa pour leur suivi du projet et leurs conseils. Les membres du Comité directeur nous ont fait part de leurs réactions critiques à certaines étapes cruciales de la réalisation du projet. Outre ceux dont les noms ont déjà été mentionnés, les membres du Comité étaient Doug Bowron, Marc Fortin, Danielle Gaudreau, Daniel Lafontaine, Ghislain LaFontaine et Frank Saccamano.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du Programme de recherche sur les passages à niveau, une initiative coparrainée par Transports Canada, les grandes compagnies de chemin de fer canadiennes et plusieurs autorités provinciales. Ce programme est un volet de Direction 2006, un regroupement d'intervenants dont le but est de diminuer de moitié d'ici 2006 le nombre d'accidents survenant à des passages à niveau.

SOMMAIRE

Ce projet avait pour but de cerner les facteurs humains qui jouent un rôle dans les accidents survenant aux passages à niveau afin de recommander des contre-mesures qui tiennent compte des grandes tendances observées quant aux causes probables. L'analyse des facteurs humains devrait constituer un important progrès dans la connaissance des accidents survenant aux passages à niveau au Canada. Le projet a été réalisé dans le cadre de *Direction 2006*, dont le but est de réduire de moitié d'ici 2006 le nombre de collisions aux passages à niveau. Pour prévenir des accidents similaires, il est essentiel de connaître et d'éliminer les facteurs qui les entraînent. Il s'agit, en dernière analyse, de diminuer le nombre de décès et de blessures chez les conducteurs et les passagers. Le projet comprenait trois grandes étapes de recherche :

1) Développer, à partir d'une vaste recherche documentaire, une taxinomie des facteurs humains qui contribuent aux accidents aux passages à niveau.
2) Utiliser cette taxinomie pour interroger la base de données sur les événements ferroviaires (BDEF) du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) et en tirer des données qualitatives et quantitatives.
3) Analyser et interpréter les facteurs humains contributifs afin de déterminer les systèmes de transports contemporains et les systèmes de transports intelligents (STI) les plus susceptibles de prévenir les accidents.

Examen de la documentation et taxinomie

L'un des buts de ce projet consistait à appliquer ce qui est connu à propos des accidents aux passages à niveau aux données canadiennes. En partant d'un examen poussé de la documentation en la matière, nous avons établi une taxinomie des facteurs présents dans ces accidents afin de poser des hypothèses et de faire des déductions au sujet de cas précis et des types communs de facteurs contributifs (voir la figure 1). Comportements imprudents, différences individuelles, visibilité du train, signalisation non automatisée et marquage sur la chaussée, systèmes d'avertissement automatisés et contraintes physiques forment les principales catégories de facteurs présents lors d'accidents. Contrairement à ce qui été fait avec d'autres taxinomies, l'accent a ici été mis sur la multiplicité des facteurs contributifs.

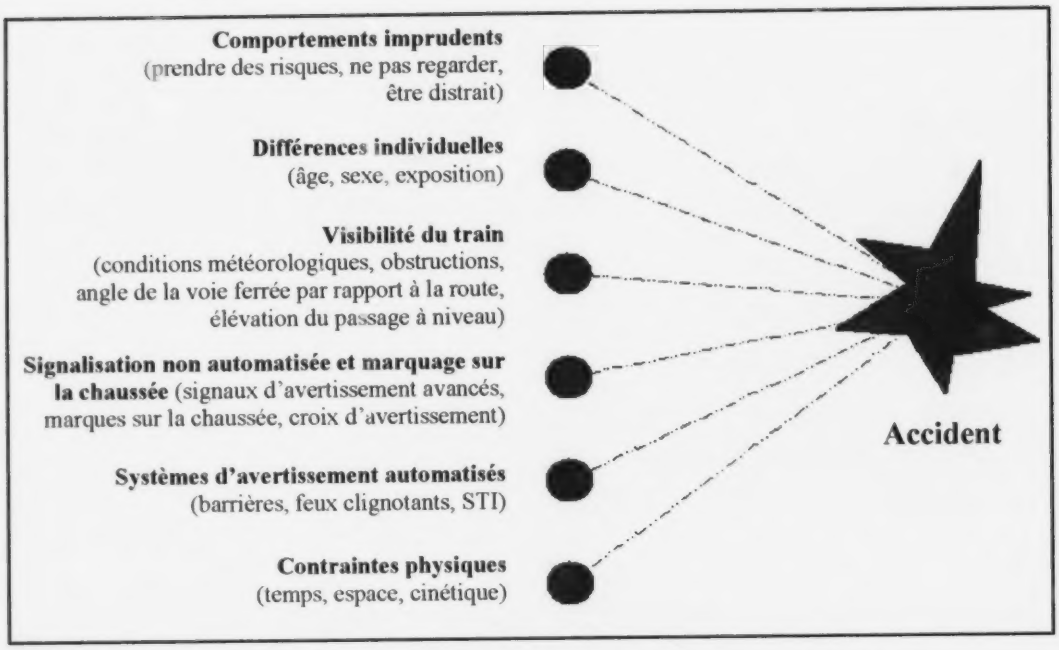

Figure 1 Facteurs intervenant dans les accidents aux passages à niveau

Examen de la documentation sur les contre-mesures

Nous avons examiné les possibilités qu'offrent les technologies actuelles et futures pour diminuer la fréquence et la gravité des accidents aux passages à niveau. Un certain nombre de contre-mesures correctives ont été évaluées dans le but de déterminer à quel point elles peuvent réduire le nombre de collisions entre les véhicules et les trains. Les passages à niveau à signalisation non automatisée posent un problème parce qu'il n'y a rien d'autre pour informer les conducteurs automobiles. Le recours à des panneaux d'arrêt pour accroître la sécurité à ces passages à niveau comporte des avantages et des inconvénients. Il a été démontré que l'installation de lampadaires réduit le nombre de collisions nocturnes entre les véhicules automobiles et les trains. Il a aussi été démontré que la conversion d'une signalisation non automatisée à une signalisation automatisée comportant des feux clignotants, une sonnerie et des barrières réduit de beaucoup le nombre d'accidents. Améliorer le dispositif d'avertissement constitué de feux clignotants et de barrières en recourant à des contre-mesures telles que l'installation de caméras de surveillance (cinémomètres), de barrières centrales et de systèmes à quatre demi-barrières réduit la fréquence et la gravité des comportements délinquants. Les STI offrent une solution de rechange aux systèmes de signalisation classiques (tant automatisés que

non automatisés) actuellement utilisés aux passages à niveau. Il en coûterait cependant trop cher d'installer des systèmes automatisés à tous les passages à niveau. Le tableau 1 montre l'efficacité, le coût d'un éventail de contre-mesures et les sources. La liste est établie en fonction de la date approximative d'introduction de la nouvelle technologie. Il faut que nous disposions des moyens de repérer les passages à niveau dangereux et d'y installer les dispositifs de sécurité qui conviennent le mieux. En bout de ligne, il est probable que les coûts que peuvent supporter Transports Canada, les compagnies de chemin de fer ainsi que les gouvernements provinciaux et les administrations locales détermineront l'ampleur des interventions éventuelles.

Analyse quantitative

L'analyse quantitative avait pour objet de caractériser les accidents survenus aux passages à niveau canadiens au cours des 19 dernières années. Pour atteindre cet objectif, nous avons interrogé les données quantitatives et qualitatives de la BDEF à l'aide de la taxinomie des facteurs intervenants dans les accidents. Les résultats quantitatifs obtenus à partir de ces recherches dans la base de données montrent que la fréquence des accidents, des blessures et des décès aux passages à niveau par million de milles-train parcourus a diminué (voir la figure 2). Le nombre de décès chez les occupants des véhicules varie beaucoup d'une année à l'autre. Avant 1993, les données pour les passagers et les conducteurs n'étaient pas séparées. En 1993, la classe de blessure retenue dans le calcul des données a été modifiée, passant des blessures à signaler aux blessures graves seulement, ce qui a entraîné une diminution importante du nombre de blessures indiqué dans les statistiques. Le nombre d'accidents concernant des matières dangereuses est demeuré relativement constant.

Le nombre d'accidents survenus aux passages à niveau publics, automatisés ou non automatisés, a diminué depuis 1983, et il y a eu au total plus d'accidents aux passages à niveau automatisés publics qu'à n'importe autre type de passage à niveau. Après 1993, il est devenu obligatoire de signaler tous les accidents se produisant à des passages à niveau de chemins privés ou de fermes, ce qui a entraîné une augmentation corollaire du nombre d'accidents dans les statistiques.

Tableau 1 Type, efficacité, coût et sources des contre-mesures

Contre-mesure	Efficacité	Coût	Source(s)
Panneaux d'arrêt à des passages à niveau non automatisés	Inconnue	1 200 à 2 000 $	NTSB (1998a)
Éclairage du passage à niveau	Diminution de 52 % des accidents de nuit par rapport aux passages à niveau sans éclairage	Inconnu	Walker et Roberts (1975)
Feux clignotants	Diminution de 64 % des accidents par rapport aux croix d'avertissement seules; Diminution de 84 % des blessures par rapport aux croix d'avertissement; Diminution de 83 % des décès par rapport aux croix d'avertissement	20 000 à 30 000 $ en 1988	Schulte (1975) Morrissey (1980)
Feux et barrières (2) + Feux clignotants	Diminution de 88 % des accidents par rapport aux croix d'avertissement seules; Diminution de 93 % des blessures par rapport aux croix d'avertissement; Diminution de 100 % des décès par rapport aux croix d'avertissement; Diminution de 44 % des accidents par rapport aux feux clignotants seuls	150 000 $	NTSB (1998a) Schulte (1975) Morrissey (1980) Hauer et Persaud (1986)
Barrières centrales	Diminution de 80 % des infractions par rapport au système à deux barrières	10 000 $	Carroll et Haines (2002a)
Barrières allongées (3/4 de la largeur de la route)	Diminution de 67 à 84 % des infractions par rapport au système à deux barrières	Inconnu	Carroll et Haines (2002a)
Système à quatre demi-barrières	Diminution de 82 % des infractions par rapport au système à deux barrières	125 000 $ si des barrières standards sont déjà en place 250 000 $ pour un passage à niveau non automatisé	Carroll et Haines (2002a), Hellman et Carroll (2002)
Système à quatre demi-barrières avec barrières centrales	Diminution de 92 % des infractions par rapport au système à deux barrières	135 000 $	Carroll et Haines (2002a)
Barrières d'impasse	Diminution de 100 % des infractions, accidents, blessures et décès	15 000 $	Carroll et Haines (2002a) NTSB (1998a)
Cinémomètres	Diminution de 34 à 94 % des infractions	40 000 à 70 000 $ par installation	Carroll et Haines (2002b)
Systèmes évolués d'aide à la conduite et de sécurité des véhicules (ICSAWS)	Inconnue	5 000 à 10 000 $ par passage à niveau + 50 à 250 $ pour un récepteur	NTSB (1998a)

Remarques : La liste des contre-mesures est établie en fonction de la date approximative de leur introduction. L'efficacité d'une contre-mesure est exprimée en fonction de la diminution, en pourcentage, des accidents et autres infractions, par rapport aux dispositifs d'avertissement antérieurs. Les coûts sont exprimés en dollars US à partir de la source la plus récente.

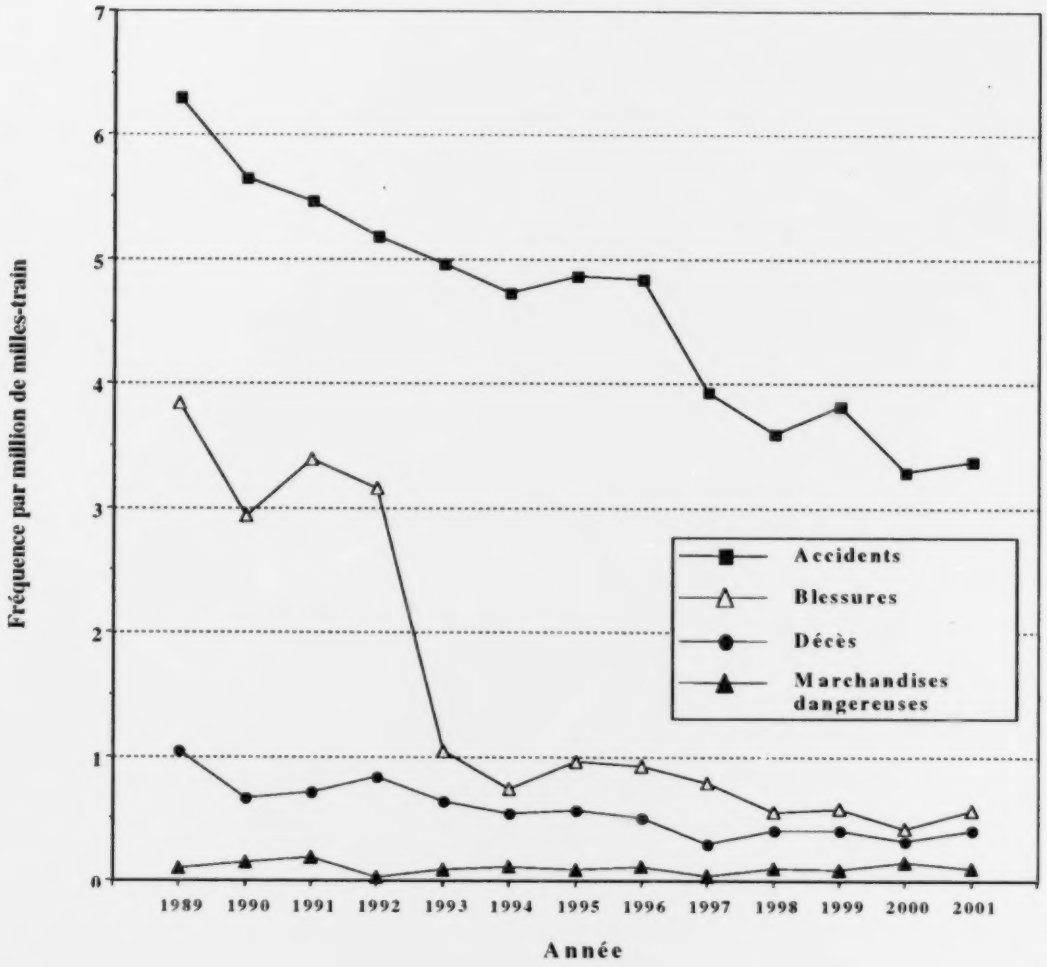

Figure 2 Fréquence des accidents de tous genres, des blessures, des décès ainsi que des accidents concernant des marchandises dangereuses, par million de milles-train, de 1989 à 2001

Sommaire de certains résultats de l'analyse quantitative :

- De tous les accidents aux passages à niveau inclus dans la BDEF (N = 7 819), la moitié (50 %) sont survenus à des passages à niveau où la voie ferrée coupait la route à un angle de moins de 80 degrés (ou de plus de 100 degrés) avec la voie ferrée.

- Depuis 1983, la majorité des accidents mortels (53 %) ont mis en cause des automobiles; viennent ensuite les camions légers (27,1 %), les camionnettes (5,3 %), les poids lourds (4,6 %) et les ensembles tracteurs et semi-remorques (3,6 %). Les camions transportant des marchandises dangereuses n'ont été en cause que dans 0,23 % des accidents mortels.

- Il n'y a qu'un petit nombre d'accidents mortels survenus après 1993 (N = 155) pour lesquels nous disposions de renseignements sur le sexe et l'âge des personnes en cause. Dans ce petit échantillon, ce sont les conducteurs masculins de 26 à 64 ans qui ont été le plus fréquemment en cause (49 % des accidents), les conductrices de 26 à 64 ans venant au deuxième rang (17,4 % des accidents).

- Selon les moyennes établies pour la période allant 1983 à 2000, janvier et décembre sont les mois où l'on enregistre le plus grand nombre d'accidents, tandis qu'avril est le mois où l'on en enregistre le moins.

- Environ quarante pour cent (40 %) des accidents sont survenus au milieu du jour (entre 9 h 30 et 15 h 30), alors que 29 % se sont produits pendant les heures de pointe, soit le matin (de 6 h 30 à 9 h 30) et le soir (de 15 h 30 à 18 h 30).

- Des données sur les débits de véhicules et de trains aux passages à niveau, il ressort que la majorité des accidents surviennent aux passages à niveau peu fréquentés (moins de 500 véhicules par jour).

- Sauf certaines différences prévisibles (p. ex., en raison des conditions météorologiques et du débit de la circulation), les données canadiennes et américaines sur les accidents aux passages à niveau sont passablement semblables.

- Enfin, dans les cas où les comportements des conducteurs ont été considérés comme des gestes imprudents intentionnels, le «défaut de s'arrêter» et le fait de «contourner les barrières» viennent respectivement au premier et deuxième rang.

Analyse qualitative

L'analyse qualitative a permis de dresser un portrait plus élaboré de la façon dont se produisent les accidents découlant de gestes intentionnels et de distractions de la part des conducteurs. Cette analyse est importante puisqu'elle apporte des éléments d'information qui viennent appuyer les analyses quantitatives et permettent de faire des descriptions approfondies. À notre connaissance, une telle méthode d'analyse des accidents se produisant aux passages à niveau n'a jamais été utilisée auparavant. Nous avons fait une recherche par mot clé dans 3 990 comptes rendus enregistrés entre le 1er janvier 1990 et le 7 novembre 2001. En plus de fournir des descriptions étoffées d'accidents, les comptes rendus ont fait ressortir des facteurs contributifs prévisibles :

- Un certain nombre de comptes rendus ont révélé l'existence de plusieurs facteurs contributifs, fournissant ainsi un portrait plus détaillé de la façon dont les comportements des conducteurs interagissent avec diverses conditions pour provoquer un accident.

- Dans 86 cas d'accident, les comptes rendus montrent qu'un geste intentionnel a constitué un facteur contributif : 35 conducteurs ont contourné les barrières, 16 ont tenté de devancer le train, 10 se sont arrêtés ou ont ralenti puis sont repartis, quatre ont contourné et doublé des véhicules arrêtés ou qui étaient en train de s'immobiliser à un passage à niveau (sans barrières) et quatre 4 ont contourné des véhicules arrêtés et des barrières. Cinq autres accidents sont reliés à un affaiblissement des facultés par l'alcool et trois à la fatigue.

- Dans 39 cas d'accident, les comptes rendus font ressortir la possibilité qu'une distraction du conducteur ait été un facteur contributif. Dans 12 cas, le conducteur n'a pas vu les signaux, alors que dans 10 cas, le conducteur n'a pas vu le train. Dans sept comptes rendus, il est question de l'utilisation d'un téléphone cellulaire, quatre comptes rendus font mention d'une distraction de source propre au conducteur lui-même (p. ex., processus cognitifs), trois d'une distraction liée à la présence de passagers dans le véhicule, trois d'une distraction de source externe (événements ou objets à l'extérieur du véhicule) et un compte rendu mentionne que le conducteur était occupé à régler la radio ou le lecteur de cassettes du véhicule.

- Dans 64 cas, les comptes rendus font état de problèmes de visibilité. Parmi les facteurs contributifs de cette nature, on mentionne la présence de brouillard (25 cas), l'éblouissement par le soleil (21 cas), la neige (8 cas) et une mauvaise ligne de visibilité (10 cas).

- Dans 31 comptes rendus et dans la description de 10 accidents mettant en cause la présence d'un deuxième train, on souligne qu'un carrefour routier se trouvait à proximité d'un passage à niveau.

Conclusions et recommandations

1) Le but principal de ce projet consistait à analyser en profondeur les accidents survenus aux passages à niveau au Canada au cours d'une période donnée du point de vue des facteurs humains. Les analyses quantitatives et qualitatives, auxquelles s'ajoutent les caractérisations des gestes imprudents et des conditions dangereuses effectuées par le BST, fournissent un portrait approfondi et unique de ces accidents. Il est possible de faire des comparaisons statistiques en répétant ou en prolongeant la présente étude.

2) Les comparaisons entre les données du BST et celles de la Federal Railroad Administration (FRA) des États-Unis sur les accidents aux passages à niveau pour l'année 2000 font ressortir des tendances similaires en ce qui regarde le sexe des conducteurs, les heures de la journée et les mois de l'année aux cours desquels les accidents se produisent, les types de véhicules et les types de signalisation en cause. Comme on pouvait s'y attendre, l'effet des conditions météorologiques diffère. Il n'a pas été possible de faire des comparaisons en ce a trait aux comportements imprudents et aux conditions dangereuses, à l'angle de la voie ferrée par rapport à la route, à l'âge des conducteurs et aux tendances à long terme.

3) L'observation du comportement des conducteurs aux passages à niveau fournit un éclairage sur l'efficacité de diverses contre-mesures. Ainsi, lorsqu'un conducteur connaît bien un passage à niveau et qu'il ne s'attend pas à la présence d'un train, il se peut que sa vigilance baisse et qu'il ne se donne pas la peine de bien regarder. Les dispositifs d'avertissement automatiques qui visent à prévenir toute interaction entre les trains et les véhicules sont les plus susceptibles de réduire le nombre d'accidents, de blessures et de décès. La fermeture

complète et la mise en place de barrières centrales aux passages à niveau déjà munis de barrières serait une formule intéressante pour des raisons de coût et d'efficacité.

4) Bien que les panneaux d'arrêt soient une forme de signalisation habituelle et permanente pour les conducteurs, les statistiques de la FRA montrent que l'utilisation de ces seuls panneaux soulèvent des doutes quant à leur efficacité dans la prévention des accidents et des décès. Il est fréquent que les conducteurs passent outre aux panneaux d'arrêt aux passages à niveau. Il n'a pas été établi qu'ils auraient pour effet de diminuer le nombre d'accidents par rapport aux taux actuels. Si le Canada devait examiner la possibilité de suivre la recommandation du National Transportation Safety Board des États-Unis sur l'installation de panneaux d'arrêt, il faudrait faire des recherches plus poussées pour déterminer leur degré d'efficacité.

5) Il faudrait concevoir et évaluer l'efficacité de panneaux supplémentaires de signalisation avancée qui indiquent aux conducteurs ce qu'ils doivent faire à l'approche d'un passage à niveau. Dans certains pays (p. ex., en Australie, en Israël et au Royaume-Uni), on fournit aux conducteurs des renseignements supplémentaires comme la distance qui reste à parcourir jusqu'à un passage à niveau ou on installe des panneaux sur lesquels on inscrit «Attention aux trains» ou «Ne pas s'arrêter sur la voie ferrée». Il faudrait aussi examiner la possibilité d'installer plusieurs panneaux indicateurs, puisqu'il arrive fréquemment que les conducteurs ne prêtent pas attention à la signalisation avancée.

6) Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour évaluer l'efficacité des contre-mesures (voir par exemple Hauer et Persaud, 1986). Toutefois, l'effet net de l'application d'un large éventail de contre-mesures sur le nombre total d'accidents, de blessures et de décès ne peut être établi de manière concluante (voir à ce sujet Evans, 1985; 1991). L'instauration de plusieurs de ces mesures aux passages à niveau les plus dangereux va accentuer la diminution déjà réalisée des accidents, des blessures et des décès. Cette diminution va toutefois se produire avec une variabilité qui fera en sorte qu'il sera difficile de l'attribuer à un programme précis de contre-mesures.

7) À première vue, le phénomène des accidents aux passages à niveau semble relativement simple, quelques facteurs contributifs intervenant pour causer ces accidents. Cependant, des recherches approfondies en cette matière peuvent faire ressortir d'autres facteurs, si on s'interroge continuellement sur les raisons pour lesquels ils se produisent. L'analyse des causes fondamentales suppose une recherche de la cause ou des causes premières d'un accident (voir Leveson, 1995; Rasmussen, 1990; Reason, 1993). L'analyse des causes fondamentales est utile lorsque des organisations peuvent avoir une responsabilité dans un accident. Il peut en effet exister des facteurs organisationnels contribuant aux accidents, comme un manque de coordination entre les compagnies de chemin de fer et les administrations routières en vue d'éliminer les risques à un passage à niveau donné. Il serait possible, au moyen d'une recherche ciblée sur les accidents de classe IV effectuée par le BST, de déterminer dans quelle mesure ces facteurs organisationnels interviennent dans les accidents, ce que nous ignorons actuellement.

Bibliographie

Carroll, A.A., et Haines, M. (2002a). *North Carolina "sealed corridor" phase I safety assessment*. Transportation Safety Board [CD-ROM]. Washington, DC: TRB.

Carroll, A.A., et Haines, M. (2002b). *The use of photo enforcement at highway-rail grade crossings in the U.S.* Transportation Safety Board [CD-ROM]. Washington, DC: TRB.

Evans, L. (1985). Human behavior feedback and traffic safety. *Human Factors, 27*(5), 555-576.

Evans, L. (1991). *Traffic safety and the driver*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold.

Hauer, E., et Persaud, B.N. (1986). Rail-highway grade crossings: Their safety and the effect of warning devices. *Proceedings of the 30th Annual American Association for Automotive Medicine* (pp. 247-262). Montreal, QC.

Hellman, A.D., et Carroll, A.A. (2002). *Preliminary evaluation of the school street four-quadrant gate highway-railroad grade crossing*. Transportation Research Board [CD-ROM]. Washington, DC: TRB.

Leveson, N.G. (1995). Les logiciels dans la sûreté des systèmes ou l'esprit de sûreté. Paris : CEDOCAR.

Morrissey, J. (1980). The effectiveness of flashing lights and flashing lights with gates in reducing accident frequency at public rail-highway crossings (Rep. No. FRA-RRS-80-005). Waltham, MA: Input Output Services.

National Transportation Safety Board (1998a). Safety study: Safety at passive grade crossings, Volume 1: Analysis (PB98-917004, NTSB/SS-98/02). Washington, DC: NTSB.

Rasmussen, J. (1990). Human error and the problem of causality in analysis of accidents. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B327*, 449-462.

Reason, J. (1993). *L'erreur humaine*. Paris : Presses universitaires de France.

Schulte, W. R. (1975). Effectiveness of automatic warning devices in reducing accidents at grade crossings. *Transportation Research Record 611*, 49-57.

Walker, F. W., et Roberts, S.E. (1975). *Influence of lighting on accident frequency at highway intersections.* Ames, IA: Department of Transportation.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1
   - 1.1 Objectifs du projet 1
   - 1.2 Champ d'application du projet 1
   - 1.3 Mission du Bureau de la sécurité des transports 2
   - 1.4 Classification des événements et signalement obligatoire 4

2. NORMES CANADIENNES SUR LES PASSAGES À NIVEAU 7
   - 2.1 Approche d'un passage à niveau non automatisé 8
   - 2.2 Passages à niveau automatisés 8
   - 2.3 Signalisation avancée de passage à niveau 9
   - 2.4 Croix d'avertissement et voies multiples 10
   - 2.5 Panneaux indicateurs d'arrêt 11
   - 2.6 Signalisation supplémentaire 12
   - 2.7 Dispositifs d'avertissement automatisés 12
   - 2.8 Signalisation sur la chaussée 13

3. EXAMEN DE LA DOCUMENTATION 15
   - 3.1 Méthodes 16
   - 3.2 Comportement des conducteurs aux passages à niveau 16
   - 3.3 Résumé des conclusions tirées de l'examen de la documentation 31

4. TAXINOMIE DES FACTEURS INTERVENANT DANS LES ACCIDENTS AUX PASSAGES À NIVEAU 33
   - 4.1 Introduction 33
   - 4.2 Inventaire des facteurs 34
   - 4.3 Analyse de la taxinomie 34

5. EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR LES CONTRE-MESURES 39
   - 5.1 Contre-mesures aux passages à niveau non automatisés 39
   - 5.2 Contre-mesures aux passages à niveau automatisés 45
   - 5.3 Contre-mesures à bord des trains 53
   - 5.4 Systèmes de transports intelligents 59
   - 5.5 Résumé des contre-mesures 62

6. ANALYSES QUANTITATIVES 67
   - 6.1 Introduction et méthodes 67
   - 6.2 Analyse des accidents 68
   - 6.3 Analyse des décès, des blessures et des risques 70
   - 6.4 Type de passage à niveau, configuration des intersections, circulation et débit des trains 80
   - 6.5 Période du jour et de l'année 84
   - 6.6 Comportements imprudents et conditions dangereuses 87
   - 6.7 Questions additionnelles 89
   - 6.8 Résumé des résultats quantitatifs 92

7. ANALYSE QUALITATIVE 95
7.1 Introduction et méthodes 95
7.2 Accidents liés à des gestes intentionnels 97
7.3 Accidents liés aux distractions 101
7.4 Problèmes de visibilité 106
7.5 Accidents ferroviaires qui surviennent près d'une intersection routière 110
7.6 Accidents avec un deuxième train et sur voies multiples 111
7.7 Sommaire des analyses qualitatives 111

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 115

BIBLIOGRAPHIE 119

ANNEXE

ANNEXE A : MOTS CLÉS UTILISÉS POUR LA RECHERCHE

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Signalisation avancée	10
Figure 2.2	Croix d'avertissement, feux fixés à un poteau et en porte-à-faux au-dessus de la route, panneau indicateur de double voie et lampadaires dans une banlieue de Winnipeg	11
Figure 2.3	Dispositifs d'avertissement automatisés	13
Figure 2.4	Marquage sur la chaussée avant un passage à niveau	14
Figure 4.1	Taxinomie des facteurs intervenant dans les accidents aux passages à niveau	37
Figure 5.1	Visualisation tête haute d'une signalisation intégrée de passage à niveau	61
Figure 6.1	Nombre d'accidents par année aux passages à niveau, de 1983 à 2001	69
Figure 6.2	Nombre d'accidents par année par type de passage à niveau, de 1983 à 2001	70
Figure 6.3	Nombre de décès survenus lors d'accidents, de 1983 à 2001	72
Figure 6.4	Types de décès des occupants de véhicules, de 1993 à 2001	73
Figure 6.5	Fréquence des accidents de tous genres, des blessures, des décès ainsi que des accidents concernant des marchandises dangereuses, par million de milles-train, de 1989 à 2001	74
Figure 6.6	Fréquence des accidents, des blessures et des décès, de 1989 à 2001	75
Figure 6.7	Décès répartis selon l'âge et le sexe, de 1993 à 2001	78
Figure 6.8	Décès d'occupants de véhicule répartis par type de véhicule, de 1983 à 2001	79
Figure 6.9	Pourcentage des accidents répartis par type de panneau et de signal, de 1992 à 2001	81
Figure 6.10	Accidents aux passages à niveau répartis selon l'angle, de 1983 à 2001	82
Figure 6.11	Fréquence d'accidents répartis selon la circulation quotidienne des véhicules et des trains, de 1983 à 2001	83
Figure 6.12	Fréquence des accidents répartis selon l'heure du jour	85
Figure 6.13	Fréquence des décès répartis selon l'heure du jour	85
Figure 6.14	Pourcentage moyen des accidents par mois, de 1983 à 2000	86
Figure 6.15	Une intersection située à proximité d'un passage à niveau dans un secteur urbain de Winnipeg	91
Figure 6.16	Une intersection située à proximité d'un passage à niveau perpendiculaire dans un secteur industriel de Winnipeg	92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5.1 Type, efficacité, coût et sources des contre-mesures 63

Tableau 6.1 Comportements imprudents et intentionnalité, de 1999 à 2001 88
Tableau 6.2 Conditions météorologiques et d'éclairage dangereuses, de 1998 à 2001 89
Tableau 6.3 Conditions internes dangereuses, de 1998 à 2001 89

Tableau 7.1 Gestes intentionnels, nombre de comptes rendus pour chaque type et extraits de compte rendu 98
Tableau 7.2 Types de distraction, nombre de comptes rendus pour chaque type et extraits de compte rendu 103

LEXIQUE

Il est important que la langue servant à décrire les accidents qui se produisent aux passages à niveau soit précise. Dans tout le rapport, les termes utilisés correspondent à ceux qu'emploient les organismes cités (p. ex., FRA, NTSB, BST). Le chapitre 2 du présent rapport donne une description écrite et visuelle des éléments de signalisation aux passages à niveau. Sauf indications contraires, les analyses qualitative et quantitative sont faites à l'aide des termes qu'emploie le Bureau de la sécurité des transports (BST).

AASHTO — American Association of State Highway and Transportation Officials

Accident — Vu comme un événement imprévisible et dû au hasard. Donc, *des accidents se produisent*; ils sont dus en partie au hasard. De façon générale, *les gens ne font pas d'accident volontairement* (Senders et Moray, 1991, p. 28, en italique dans le texte). Le terme «accident» suppose une absence d'intention (Robertson, 1998).

ATC — Association des transports du Canada

BDEF — Base de données sur les événements ferroviaires du BST

Blessure grave — Blessure susceptible de nécessiter l'hospitalisation de la victime (BST, août 1992, p. 6)

BST — Bureau de la sécurité des transports du Canada

CDT — Centre de développement des transports

Collision à un passage à niveau — Collision qui se produit à un passage à niveau entre du matériel roulant et tout autre usager du passage à niveau (BST, août 1992, p. 2).

Comportement imprudent — Comportement qui va au-delà de l'erreur ou de l'infraction; c'est une erreur ou une infraction commise alors qu'il y a un danger : la présence d'une masse, d'une énergie ou d'une toxicité quelconque qui, non contrôlée correctement, peut causer des blessures ou des dommages (Reason, 1993, p. 206).

DEL — Diode électroluminescente

DJM — Débit journalier moyen

Erreur — Action humaine qui ne respecte pas une règle ou une norme tacite ou explicite (Senders et Moray, 1991, p. 20).

Événement ferroviaire — a) Tout accident ou incident lié à l'utilisation de matériel roulant sur une voie ferrée et b) toute situation dont le Bureau de la sécurité des transports a des motifs raisonnables de croire qu'elle pourrait, à défaut de contre-mesure, causer un accident ou un incident décrit au point a) (BST, http://www.bst.gc.ca/fr/stats/rail/1999/railstatssummary1999.asp, ANNEXE 1).

FCS — Feux clignotants et sonnerie

FRA — Federal Railroad Administration (États-Unis)

GRC – Gendarmerie royale du Canada

HUD – Visualisation tête haute

Incident — Événement à signaler incluant notamment les chocs entre un chemin de fer, du matériel d'armement de la voie et des usagers de la route (FRA, 2001, p. 1).

Incident ferroviaire — Incident résultant directement de l'utilisation de matériel roulant au cours duquel, selon le cas : a) un risque de collision survient; etc. (BST, http://www.bst.gc.ca/fr/stats/rail/1999/railstatssummary1999.asp, ANNEXE 1).

Incident ou accident à un passage à niveau — Toute collision entre des usagers de la route (conducteurs de véhicule automobile et autres usagers du passage à niveau) et un train à un passage à niveau désigné (FRA, 2001, p. 1).

Infraction — Dérogation par rapport à des façons de faire jugées essentielles (par des concepteurs, des gestionnaires ou des organismes de réglementation) à une utilisation sûre d'un système pouvant présenter un danger (Reason, 1993, p. 195).

MMT — Million de milles-train

MUECCC — Manuel d'uniformisation des éléments de contrôle de la circulation au Canada

NTSB — National Transportation Safety Board (États-Unis)

Passage à niveau automatisé — Passage à niveau munis de feux clignotants et d'une sonnerie (FCS) et/ou de barrières qui ne sont activés qu'au moment ou un train s'approche (Mortimer, 1988). L'activation de ces éléments indique qu'un train s'en vient.

Passage à niveau non automatisé — Passage à niveau où aucun dispositif automatique n'avertit de l'arrivée prochaine d'un train.

Risque d'accident — Probabilité qu'un accident se produise dans l'avenir (Davies, 1996).

SAMT — Système d'automatisation de la marche des trains (ATCS)

Signalisation avancée de passage à niveau (SAPN) — Signalisation utilisée pour indiquer à l'avance la présence d'un passage à niveau automatisé ou non automatisé.

SIIF — Système intégré d'information ferroviaire

SIPN — Signalisation intégrée de passage à niveau

SLR — Système léger sur rail

STI — Système de transport intelligent

TPR – Temps de perception-réaction

1. INTRODUCTION

Ce projet avait pour but de cerner les facteurs humains qui jouent un rôle dans les accidents survenant aux passages à niveau afin, dans un deuxième temps, de recommander des contre-mesures qui tiennent compte des grandes tendances observées quant aux causes probables. Il était parrainé par le Centre de développement des transports (CDT) avec l'appui du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST).

L'analyse des facteurs humains, peut-on espérer, constituera un important progrès dans la connaissance des accidents survenant aux passages à niveau au Canada. Il s'agit, ultimement, de diminuer le nombre de décès et de blessures chez les conducteurs et les passagers.

1.1 Objectifs du projet

Le projet comprenait trois grandes étapes de recherche :

1) Développer, à partir d'une vaste recherche documentaire une taxinomie des facteurs humains contribuant aux accidents aux passages à niveau.

2) Utiliser cette taxinomie pour interroger la base de données sur les événements ferroviaires (BDEF) du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) et en tirer des données qualitatives et quantitatives.

3) Analyser et interpréter les facteurs humains contributifs afin de déterminer les systèmes de transports contemporains et les systèmes de transports intelligents (STI) les plus susceptibles de prévenir les accidents.

1.2 Champ d'application du projet

L'analyse de la documentation et des données a été limitée aux accidents mettant en cause le conducteur, un passager ou un véhicule. Les accidents mettant en cause des piétons ou des intrus

ont été expressément exclus des analyses et ont été examinés dans le cadre d'un contrat distinct avec le CDT.

Les sections qui suivent traitent d'aspects propres à chacun des objectifs de ce projet. Le rapport présente brièvement les éléments des passages à niveau canadiens décrits dans le *Manuel d'uniformisation des éléments de contrôle de la circulation au Canada* (MUECCC) et dans d'autres ouvrages de référence. Du point de vue d'un conducteur, il est important de comprendre, à partir d'une signalisation indiquant qu'il s'approche d'un passage à niveau, où, quand, pourquoi et de quelle façon il peut voir ou peut ne pas voir les trains. À titre d'exemple, à plusieurs passages à niveau il y a des croix d'avertissement, une sonnerie, des feux et des marques sur la chaussée. La section 3 traite des écrits sur la fréquence des accidents et sur le comportement des conducteurs ainsi que des études par observation et autres. La section 4 établit une taxinomie des facteurs humains contributifs, à partir de cet examen de la documentation, et traite des applications possibles de cette taxinomie. La taxinomie étant établie, la section 5 fait un examen des contre-mesures contemporaines et futures destinées à prévenir les accidents aux passages à niveau. On trouve, à la section 6, les analyses quantitatives effectuées à partir de la BDEF. Ces analyses portent sur la fréquence de certains accidents en fonction de certaines caractéristiques ou catégories telles que l'âge, le lieu et ainsi de suite. Vient ensuite une section comprenant des analyses qualitatives d'exposés de faits sur les accidents, ce qui est une première dans l'analyse des accidents aux passages à niveau. Ces analyses qualitatives sont le fruit d'une recherche par mots clés tels que «infraction intentionnelle» ou «distrait» menée dans le contenu de ces exposés et qui a pour but de déterminer si ces facteurs ont joué un rôle dans un accident donné. La dernière section fait une synthèse des informations importantes tirées de l'examen de la documentation et des analyses et propose des sujets de recherche possibles pour l'avenir.

1.3 Mission du Bureau de la sécurité des transports

La mission du BST consiste essentiellement à promouvoir la sécurité du transport maritime, ferroviaire et aérien, ainsi que du transport par pipeline :

- en procédant à des enquêtes indépendantes, y compris des enquêtes publiques au besoin, sur les accidents de transport choisis, afin d'en dégager les causes et les facteurs;
- en constatant les manquements à la sécurité mis en évidence par de tels accidents;
- en faisant des recommandations sur les moyens d'éliminer ou de réduire ces manquements;
- en publiant des rapports rendant compte de ses enquêtes et en présentant les conclusions qu'il en tire.

En ce qui regarde la BDEF du BST qui a été analysée aux fins de la présente étude, à compter de 1993 on y a consigné les faits relatifs à tous les événements ferroviaires survenus sur les voies assujetties à la réglementation fédérale. Avant 1993, tous les accidents de produisant à un passage à niveau public sur les voies ferrées sous réglementation fédérale étaient signalés, mais les accidents à des passages à niveau de ferme ou privés n'étaient signalés que s'ils entraînaient des blessures, mineures ou graves, des décès, s'ils concernaient des marchandises dangereuses ou s'il s'agissait d'un déraillement causant des dommages matériels de plus 7 350 $, en ce qui regarde l'exploitation de la voie principale. Les accidents se produisant sur les lignes ferroviaires et les routes assujetties à une réglementation provinciale ne sont pas inclus dans la base de données du BST et ne relèvent pas de son mandat. Tous comptes faits, les données recueillies servent à constater les manquements à la sécurité et, éventuellement, à émettre des recommandations visant à éliminer ces manquements et ainsi promouvoir la sécurité dans les transports. Ce sont donc les renseignements sur les chemins de fer qui sont le centre d'intérêt dans la construction de la BDEF, l'inclusion d'informations sur les routes et les comportements des conducteurs de véhicules aux passages à niveau n'ayant qu'un intérêt secondaire qui est fonction de la nature de l'événement survenu. Même si la mission du BST n'est pas centrée sur la sécurité routière, les passages à niveau font inévitablement partie du réseau ferroviaire canadien. Il est donc essentiel de comprendre le comportement des conducteurs aux passages à niveau pour accroître la sécurité de ce réseau. Au cours des années, le BST a mis en mémoire dans sa BDEF une quantité croissante de renseignements sur le comportement des conducteurs, des renseignements du type de ceux qu'on trouve dans la section de la base de données portant sur les conditions dangereuses et les comportements imprudents.

En fait, le BST ne classe pas les types d'accidents en fonction de leur importance. Il analyse les éléments nouveaux qui touchent la sécurité dans les transports et dresse une liste mettant en relief les problèmes graves et récurrents dans ce domaine. Cette liste est révisée chaque année afin de déterminer s'il y a lieu d'y ajouter des sujets en raison des risques qui leur sont associés, ou d'en éliminer parce que les risques se sont atténués. Les collisions aux passages à niveau étaient sur la liste des principales questions de sécurité de 2001, mais uniquement en raison de la nécessité d'assurer la sécurité et la circulation sans danger des véhicules aux passages à niveau aux endroits où des travaux de construction étaient effectués.

1.4 Classification des événements et signalement obligatoire

Le BST a établi cinq catégories d'enquêtes s'appliquant aux événements enregistrés dans sa base de données sur les événements ferroviaires.

- L'événement de catégorie 1 qui donne lieu à une enquête publique sur un événement au sujet duquel le BST fait enquête.
- Un événement est classé dans les catégories 2 ou 3 et fait l'objet d'une enquête s'il est fort probable, notamment, que cela améliorera la sécurité des transports ou si l'on croit qu'il est possible d'arriver à mieux comprendre les conditions sous-jacentes à un problème de sécurité important.
- Un événement de catégorie 4 donne lieu à une analyse de plusieurs événements afin de mieux comprendre un problème de sécurité important.
- Un événement de catégorie 5 ne répond pas aux critères des catégories 1 à 4; les données relatives à un événement de catégorie 5 sont consignées à des fins statistiques ou en vue d'une éventuelle analyse de sécurité.

La plus grande partie des événements survenus à des passages à niveau qui sont enregistrés dans la BDEF sont classés dans la catégorie 5.

Voici un extrait de la réglementation du BST sur le signalement obligatoire des accidents et incidents ferroviaires : «Sous réserve du paragraphe (5), lorsqu'un accident ou un incident

ferroviaire à signaler se produit, la compagnie ferroviaire, l'exploitant de la voie et tout membre d'équipage à bord du matériel roulant en cause doivent en faire rapport au Bureau dès que possible par le moyen le plus rapide à leur disposition, en lui communiquant tous les renseignements visés au paragraphe (2) qui sont disponibles.

(2) Le rapport cité au paragraphe (1) contient les renseignements suivants :

a) le numéro du train et sa direction;
b) le nom de la compagnie ferroviaire et de l'exploitant de la voie;
c) le nom des membres d'équipage;
d) la date et l'heure de l'accident ou de l'incident;
e) l'endroit de l'accident ou de l'incident par rapport au point milliaire et à la subdivision et, s'il y a lieu, la désignation de la voie dans la gare de triage;
f) le nombre de membres d'équipage, de passagers et d'autres personnes qui sont décédés ou ont subi une blessure grave;
g) une description de l'accident ou de l'incident et de l'étendue des dommages causés au matériel roulant, au chemin de fer, à un productoduc, à l'environnement et à d'autres biens;
h) une description sommaire des marchandises dangereuses qui sont à bord du matériel roulant ou qui s'en sont échappées;
i) dans le cas d'un accident à signaler, l'heure d'arrivée prévue de l'équipement de dégagement de la voie;
j) les nom, adresse et titre de l'auteur du rapport.»

Outre les renseignements inclus sur la liste ci-dessus, qui doivent obligatoirement être transmis, la BDEF peut contenir des renseignements supplémentaires sur le train, la voie, le matériel roulant, les conditions du milieu, des conditions dangereuses ou des actes imprudents, le passage à niveau, etc., selon la catégorie d'événement et les circonstances particulières. En dépit du caractère quelque peu limité des données de la BDEF sur le plan de la sécurité routière, il est possible, en raison du grand nombre d'incidents et d'accidents qui y sont mis en mémoire depuis 1983, d'en tirer plusieurs observations utiles. Bien que la collecte des données pour la base ne soit pas orientée principalement vers la sécurité routière, la recherche qualitative effectuée dans

les exposés de faits a notamment révélé plusieurs aspects des comportements des conducteurs aux passages à niveau. En outre, l'ajout de la section sur les conditions dangereuses et les comportements imprudents a changé la façon dont est enregistré le comportement du conducteur pour un événement donné.

2. NORMES CANADIENNES SUR LES PASSAGES À NIVEAU

Il est important de donner un bref aperçu de ce que font les conducteurs au moment où ils font face à divers genres de signalisation et de contrôle pour comprendre les effets des divers types de passages à niveau et les facteurs humains qui interviennent dans les accidents qui s'y produisent. Lerner et coll. (1990) font une analyse élégante des comportements des conducteurs. Il y a toutefois quelques différences qu'il est nécessaire de décrire entre les panneaux indicateurs et signaux américains et ceux du Canada.

Les lignes directrices sur la signalisation avancée de passage à niveau (SAPN) et les signaux à mettre en place sur les routes aux passages à niveau remontent souvent à plus de 50 ans (NTSB, 1998a). Il n'y a pas toujours entière conformité aux lignes directrices établies dans des publications telles que le *Manuel d'uniformisation des éléments de contrôle de la circulation au Canada* (MUECCC), *A Policy Geometric Design of Highways and Streets* (fréquemment appelé le livre vert de l'American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO), le *Guide canadien de conception géométrique des routes* de l'Association des transports du Canada (ATC), le *Highway-Railroad Grade Crossing Handbook* et d'autres. À titre d'exemple, sur les 60 passages à niveau non automatisés sur lesquels le Bureau de la sécurité des transports du Canada a mené une recherche (1998a), 55 ne se conformaient pas à une ou plus d'une directive portant sur la conception de ces ouvrages. Les normes canadiennes actuellement en vigueur sur la géométrie des passages à niveau (Transports Canada, 2002a) et sur les dispositifs d'avertissement automatiques (Transports Canada, 2002b) sont affichées sur le site Web de Transports Canada (www.tc.gc.ca/lois-reglements/GENERALE/L/lsf/menu.htm). On trouvera un projet de manuel sur les passages à niveau à l'adresse www.tc.gc.ca/railway/RSCC/CCSF.htm (voir également Transports Canada, 2002c). Il est important de faire un bref examen de ce qu'est la signalisation automatisée et non automatisée aux passages à niveau avant de traiter des résultats de la recherche documentaire et de faire les analyses qui suivent.

2.1 Approche d'un passage à niveau non automatisé

Au moment où il s'approche d'un passage à niveau non automatisé, le conducteur peut se retrouver face à divers dispositifs d'avertissement destinés à attirer son attention sur la proximité du passage à niveau. Il est tenu pour acquis qu'un conducteur rationnel souhaite franchir le passage à niveau sans courir de risque ni connaître de problèmes. En approchant du passage à niveau, le conducteur doit d'abord prendre conscience du fait que celui-ci existe. La SAPN qu'on trouve à tous les passages à niveau est conçue pour lui transmettre cette information, celle-ci pouvant être affichée de diverses façons, en fonction de l'angle que fait la voie ferrée avec la route et de la présence ou non d'intersections avant le passage à niveau. La distance de visibilité, c'est-à-dire la longueur de la voie ferrée sur laquelle porte la vision du conducteur dans chaque direction de 8 à 12 secondes avant qu'il n'atteigne le passage à niveau, est un aspect essentiel. Les conducteurs doivent être avertis de la présence d'un passage à niveau de telle manière qu'ils puissent balayer la voie ferrée du regard pour vérifier si un train vient et s'arrêter à temps si nécessaire. Des arbres, des bâtiments et l'angle de la route par rapport à la voie ferrée peuvent faire obstacle à la visibilité. Il devient plus difficile dans ces cas de détecter l'approche d'un train. Une fois la SAPN franchie, les marques sur la chaussée indiquent au conducteur qu'il est à proximité du passage à niveau. L'endroit où sont inscrites les marques est fonction de la vitesse permise, de l'environnement et du type de route. Une croix d'avertissement est pour le conducteur la dernière indication de l'endroit où se situe le passage à niveau. En outre, quand il y a plus d'une voie ferrée, un panneau placé sous la croix d'avertissement indique au conducteur le nombre de voies qu'il devra franchir. Des lignes et des panneaux d'arrêt peuvent, dans certains cas, indiquer au conducteur à quel endroit il devrait s'arrêter.

2.2 Passages à niveau automatisés

En approchant d'un passage à niveau muni d'une signalisation automatisée, les conducteurs sont avertis de la venue d'un train au moyen de feux clignotants (avertissement visuel) et d'une sonnerie (avertissement sonore). Ces dispositifs d'avertissement assurent une meilleure évaluation de la probabilité de l'approche d'un train qu'aux passages à niveau non automatisés. Les feux et les sonneries sont actionnés à l'aide d'un capteur de train au moins 20 secondes avant que le train n'arrive au passage au niveau. La SAPN et les marques sur la chaussée fournissent

un avertissement supplémentaire non automatisé de la présence d'un passage à niveau. Lorsque la sonnerie et les feux sont actionnés, l'attention visuelle du conducteur devrait se porter sur les feux. Pour le conducteur, la réaction correcte est alors de ralentir, d'immobiliser son véhicule puis de s'engager sur le passage à niveau au moment où il peut le faire en toute sécurité. À certains endroits, des barrières empêchent le conducteur d'engager son véhicule sur la voie ferrée. On trouvera, tout au long de cette section, des descriptions plus détaillées des dispositifs avertisseurs utilisés aux passages à niveau.

2.3 Signalisation avancée de passage à niveau

Des dispositifs non automatisés de contrôle de la circulation sont installés à une certaine distance des passages à niveau et aux endroits-mêmes où ils se situent. Conformément à ce que prescrit le MUECCC, l'endroit où est placée la SAPN dépend de la vitesse à laquelle roulent les trains, de l'usage qui est fait de la voie ferrée et de la route, et de la vitesse maximale permise sur la route. Le panneau indicateur est un dispositif servant à avertir de la présence d'un passage à niveau à courte distance devant. Le panneau, en forme de losange et mesurant 750 mm sur 750 mm, affiche, en noir sur fond jaune, une image des voies ferrées qui traversent la route (voir, p. ex., W18-20 du MUECCC). Certains panneaux indiquent l'endroit où sont les voies ferrées par rapport à une intersection (voir la figure 2.1). Aux passages à niveau où la voie ferrée croise la route à angle oblique, la SAPN (WA-18R) montre une voie ferrée traversant obliquement la route puisque ces configurations peuvent poser des problèmes de visibilité. Lorsque les distances de visibilité sont courtes, un panonceau indiquant la vitesse recommandée peut également être installé sous le panneau de SAPN.

Figure 2.1 Signalisation avancée : croix d'avertissement (RA-6) et panneau d'arrêt, panneau d'avertissement avancé, croix d'avertissement et signalisation de voies multiples (RA-6s)

2.4 Croix d'avertissement et voies multiples

Des croix d'avertissement sont placées dans les deux directions aux approches de tous les passages à niveau. Elles servent à informer les conducteurs qu'ils doivent céder le passage aux trains. La croix d'avertissement est constituée de deux pièces rétroréfléchissantes de 1 200 mm par 200 mm qui se croisent pour former un X et est fixée à un poteau également marqué d'une matière rétroréfléchissante. La hauteur du poteau est fonction des conditions de l'environnement dans lequel se trouve le passage à niveau. Lorsqu'il y a plus d'une voie ferrée, un panneau indiquant le nombre de voies doit être installé sur le poteau, sous la croix d'avertissement.

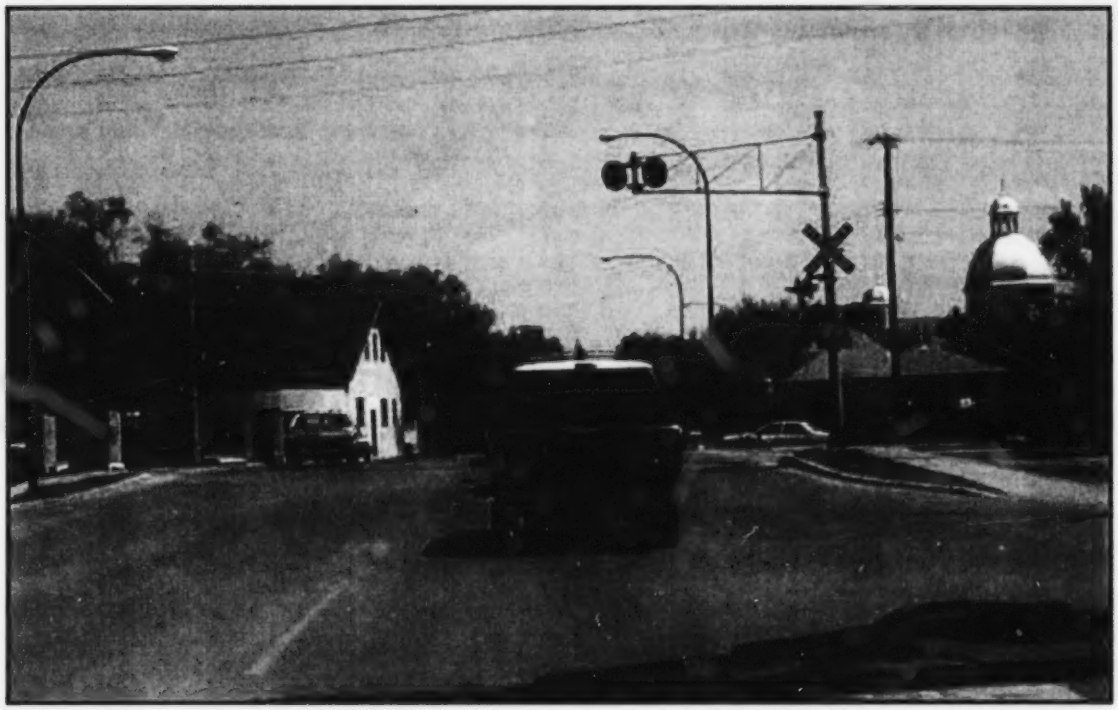

Figure 2.2 Croix d'avertissement, feux fixés à un poteau et en porte-à-faux au-dessus de la route, panneau indicateur de double voie et lampadaires dans une banlieue de Winnipeg

2.5 Panneaux indicateurs d'arrêt

Dans les milieux ruraux, des panneaux d'arrêt sont, dans certains cas, installés aux passages à niveau. Ces panneaux, habituellement installés aux passages à niveau où les distances de visibilité sont insuffisantes, ont pour but d'inciter le conducteur à faire un balayage visuel pour vérifier si un train vient. La décision d'installer ou non un tel panneau d'arrêt dépend aussi des statistiques sur l'utilisation de la voie ferrée et de la route. Les conducteurs doivent immobiliser leur véhicule et regarder si un train s'approche avant de repartir. Les dimensions minimales standard d'un panneau d'arrêt sont de 600 mm sur 600 mm. Le panneau est de forme octogonale. On peut installer des panneaux surdimensionnés lorsque la grandeur des panneaux ordinaires est insuffisante en regard des caractéristiques de l'environnement.

2.6 Signalisation supplémentaire

L'environnement du passage à niveau peut exiger l'utilisation d'une signalisation supplémentaire. On peut mettre en place des panneaux avertisseurs affichant des messages précis sur les restrictions imposées. À titre d'exemple, lorsque le passage à niveau se situe près d'une intersection, un panneau sur lequel est écrit «Ne pas s'arrêter sur la voie ferrée» peut informer les conducteurs qu'ils ne doivent pas immobiliser leur véhicule sur la voie ferrée, même lorsque la circulation est refoulée. Il n'y a actuellement aucune réglementation en vigueur concernant l'ajout de panneaux interdisant de s'arrêter sur la voie ferrée. Cependant, l'ACT travaille actuellement à la conception d'un tel panneau.

2.7 Dispositifs d'avertissement automatisés

Aux passages niveau où il y a une forte circulation de trains et de véhicules, on installe, outre les croix d'avertissement, des dispositifs d'avertissement automatisés pour que les conducteurs puissent mieux détecter la présence de trains. Un passage à niveau automatisé peut être muni de dispositifs d'avertissement visuels, de feux clignotants et d'un dispositif d'avertissement sonore sous forme de sonnerie. Certains passages à niveau sont munis de dispositifs de sécurité supplémentaires comme des barrières qui empêchent les conducteurs de s'engager dans le passage à niveau. La mise en place de feux clignotants, de sonneries ou de barrières est fonction des exigences qui se posent sur les plans technique et de la sécurité. Les feux clignotants sont installés horizontalement sous les croix d'avertissement, au-dessus de la route ou aux deux endroits. Les sonneries servent à avertir les autres usagers de la route, dont les piétons et les cyclistes.

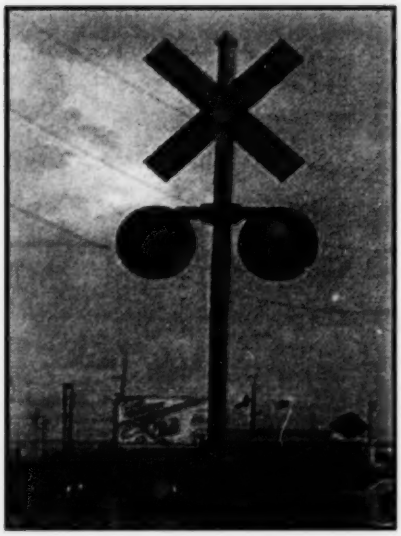

Figure 2.3 Dispositifs d'avertissement automatisés : croix d'avertissement et feux clignotants

Les feux rouges clignotants sont le principal dispositif d'avertissement aux passages à niveau automatisés. Ils ont un diamètre de 20 ou 30 cm (8 ou 12 po). Ceux de 30 cm sont un peu plus efficaces puisqu'ils ont une superficie qui est plus du double de celle des feux de 20 cm (8 po) (Glennon, 1996). La faible dimension du cône de vision de ces feux, qu'exige la concentration du faisceau lumineux vers les conducteurs qui approchent, limite leur efficacité. Les feux doivent donc être dirigés soigneusement de manière à ce qu'ils puissent être perçus sur une distance suffisante et il peut être nécessaire d'installer d'autres feux si la route est courbée à l'approche du passage à niveau ou forme un angle oblique avec la voie ferrée.

2.8 Signalisation sur la chaussée

Des marques sont parfois peintes sur la chaussée tout juste après la SAPN et avant l'atteinte du passage à niveau. Elles prennent la forme d'un grand «X» d'une largeur de trait de 300 à 500 mm. Le «X» a une longueur de 6,0 m et une largeur de 2,5 m. Il faut utiliser une peinture rétroréfléchissante et le «X» doit être incorporé de chaque côté de la route avant le passage à niveau. Le centre de la marque en croix est situé à 10 m des panneaux de SAPN.

Deux lignes d'arrêt blanches, d'une largeur de 300 mm et séparées de 300 mm, tracées sur toute la largeur de la voie de circulation des véhicules et à une distance de 4,5 m de la voie ferrée la

plus proche, indiquent aux conducteurs à quel endroit ils doivent s'arrêter quand un train s'approche.

Figure 2.4 Marquage sur la chaussée avant un passage à niveau

3. EXAMEN DE LA DOCUMENTATION

La collision entre un autobus scolaire et un train de banlieue survenue à Fox River Grove, en Illinois, le 25 octobre 1995, est un exemple tragique des accidents aux passages à niveau. Sept enfants ont été tués et vingt-cinq ont été blessés. Le NTSB a mené une enquête poussée sur l'accident et a cerné plusieurs facteurs ayant probablement contribué à ce que l'accident se produise, dont la formation des conducteurs, le manque d'intégration de la signalisation, la configuration du passage à niveau et des problèmes de communication en situation d'urgence (NTSB, 1996). L'accident a été tragique, mais il a fait prendre conscience des problèmes au public et fait ressortir la nécessité d'améliorer la sécurité aux passages à niveau. Bien qu'il y ait eu deux accidents entre un autobus et un train au Canada au cours des 19 dernières années, aucun accident de cette ampleur ne s'est encore produit ici.

Des générations successives de chercheurs se sont penchées sur les problèmes que posent les passages à niveau. Tant aux États-Unis qu'au Canada, les recherches dans ce domaine ont augmenté dans les années récentes. L'analyse des facteurs humains intervenant dans les accidents aux passages à niveau a été au centre de plusieurs projets de recherche, que ce soit en Australie (p. ex., Wigglesworth, 1979), en Suède (Åberg, 1988), en Israël (Shinar et Raz, 1982) ou aux États-Unis (notamment Klein et coll., 1994, et Lerner et coll., 1990). Des aspects tels que la visibilité des trains (Abrams, 1995; Wigglesworth, 1979), les panneaux de signalisation avancée (NTSB, 1998a), les dispositifs d'avertissement automatisés (p. ex., Mortimer, 1988; Shinar et Raz, 1982), le comportement des conducteurs (Abraham et coll., 1998; Lerner et coll., 1990), les distractions des conducteurs (Åberg, 1988) et la prise de risques (Ward et Wilde, 1995a) ont été retenus parmi les facteurs humains et autres qui contribuent fréquemment à ce que surviennent des accidents entre un véhicule et un train à un passage à niveau. La plupart de ces accidents se produisent en pleine clarté et dans de bonnes conditions météorologiques (NTSB, 1986; NTSB, 1998a; Wigglesworth, 1979). C'est l'interaction de plusieurs facteurs contributifs, dont le comportement des conducteurs et les caractéristiques des passages à niveau, qui est à la source de la plupart des accidents (Berg et coll., 1982; NTSB, 1986). Des recherches antérieures continuent de mettre en lumière les difficultés qu'éprouvent les conducteurs à l'approche d'un passage à niveau.

Peu de recherches ont permis de cerner des facteurs humains précis ayant contribué aux accidents survenus aux passages à niveau au Canada. Une analyse des facteurs humains intervenant dans ces accidents tend à situer l'erreur humaine par rapport aux capacités perceptives, cognitives, motrices et de la mémoire (voir p. ex. Caird et Hancock, 2002; Leibowitz, 1985). La présente étude a pour but d'appliquer ce qui est connu à propos des accidents aux passages à niveau aux données canadiennes sur le sujet. Nous tenterons de voir si les problèmes de sécurité soulevés dans d'autres études se posent de la même manière au Canada, une question à laquelle nous n'avions jusqu'à présent pas de réponse.

3.1 Méthodes

Nous avons eu recours à plus d'une méthode pour repérer les documents importants sur les facteurs humains et le comportement des conducteurs jouant un rôle dans les accidents aux passages à niveau. Pour trouver des documents portant précisément sur ces sujets, des recherches ont été effectuées dans d'excellents articles connus, sur le Web, manuellement dans des bases de données et au moyen de l'examen d'importantes bibliographies dressées par d'autres auteurs. Outre celui portant sur les facteurs humains et les aspects comportementaux, un travail de recherche a été mené sur l'erreur humaine et sur les contre-mesures appliquées aux passages à niveau afin de donner plus d'ampleur aux sections portant respectivement sur la taxinomie des facteurs contributifs (section 4) et sur les contre-mesures (section 5).

3.2 Comportement des conducteurs aux passages à niveau

Les conducteurs adoptent aux passages à niveau divers comportements susceptibles d'accroître le risque d'accident. En 1986, le NTSB a mené une étude portant sur 75 des 161 accidents mettant en cause des trains de voyageurs qui avaient été signalés en 1985. L'étude a montré que le comportement des conducteurs avait été un facteur causal dans 52 des 75 accidents examinés, soit dans 69 % des cas (NTSB, 1986). Dans une étude plus récente sur des accidents survenus à des passages à niveau non automatisés, le NTSB a attribué à une erreur du conducteur 49 des 60 accidents ayant fait l'objet d'une enquête (NTSB, 1998a). Ainsi, dans 13 cas le conducteur n'avait pas tenu compte de la présence d'un panneau d'arrêt, dans 16 cas le conducteur n'avait pas vérifié si un train venait, dans 10 cas le conducteur était distrait et dans 5 cas le conducteur

avait fait une erreur de jugement. Parmi les 11 autres accidents dans lesquels le conducteur n'était pas en cause, 7 étaient dus à un état de la route qui empêchait le conducteur de voir correctement le passage à niveau ou le train. Dans un cas, il s'agissait d'un problème de mauvais entretien du véhicule. Bien qu'il ne s'agisse pas nécessairement d'un échantillon représentatif, les 60 cas d'accidents survenus à un passage à niveau non automatisé ont été choisis en fonction de plusieurs variables, dont le moment de la journée, la gravité des blessures subies, les décès causés ou non, le caractère public ou privé des passages à niveau, la vitesse du train, la visibilité du train et le fait que l'avertisseur sonore du train ait été utilisé ou pas.

3.2.1 Bonne connaissance du passage à niveau

Dans les enquêtes sur les cas d'accidents aux passages à niveau, les résultats montrent souvent que le conducteur connaissait bien le passage à niveau en cause (Wigglesworth, 1979; NTSB, 1986). Ainsi, Wigglesworth (1979) a fait une recherche sur un échantillon de 85 accidents mortels survenus à des passages à niveau de Victoria, en Australie, entre 1973 et 1977. Il a été estimé que 73 des 85 conducteurs (86 %) étaient habitués à utiliser le passage à niveau où leur accident s'est produit. Le critère suivant a été retenu pour la recherche : pour déterminer qu'un conducteur connaissait bien le passage à niveau, il fallait que la distance séparant le passage à niveau de son domicile soit de moins d'un mille. Wigglesworth signale que certains conducteurs classés parmi ceux «n'habitant pas à proximité» pouvaient en réalité fort bien connaître le passage à niveau, tout particulièrement s'il était relativement près de leur résidence ou de leur lieu de travail. Il est également possible que certains conducteurs classés par ceux «habitant à proximité» aient rarement franchi un passage à niveau situé dans leur secteur parce qu'ils n'avaient pas à le faire.

L'étude de 1986 du NTSB en est arrivée à des résultats similaires à ceux de Wigglesworth (1979), soit qu'environ 85 % des conducteurs connaissaient bien le passage à niveau. Cette étude ne précise toutefois pas à partir de quel critère a été déterminée cette connaissance supposée. Dans une recherche sur les infractions commises par les conducteurs à des passages à niveau automatisés, Abraham et coll. (1998) signalent que 68 % des 276 conducteurs questionnés après

avoir commis une infraction à un passage à niveau ont dit qu'ils utilisaient celui-ci au moins quatre fois par semaine, tandis que 19 % ont dit qu'ils l'utilisaient de 2 à 4 fois par semaine.

Au total, l'habitude de franchir un passage à niveau peut influencer la façon dont une personne se comporte par rapport à celui-ci. À titre d'exemple, dans l'étude de 1979 de Wigglesworth, il y a le cas d'un conducteur qui a été frappé à un passage à niveau qu'il franchissait tous les jours à la même heure par un train qui avait deux heures de retard. Plus encore, les résultats d'Abraham et coll. (1998) révèlent que 87 % des conducteurs ayant commis une infraction à un passage à niveau automatisé utilisaient celui-ci de façon régulière. Ces résultats laissent croire que la connaissance d'un passage à niveau peut inciter les conducteurs à prendre de plus grands risques. Toujours dans l'étude de Abraham et coll., la plupart des conducteurs ont dit ne pas avoir tenu compte des signaux ou avoir contourné les barrières parce que le «train n'était pas en vue» ou parce que le «train était immobilisé pendant trop longtemps». En dernière analyse, il est extrêmement difficile de déterminer ou de comprendre entièrement la nature des comportements et des décisions d'un conducteur en rapport avec un passage à niveau. Il est difficile de déterminer dans quelle mesure les conducteurs sont familiers avec un passage à niveau à moins de les interroger à ce sujet expressément. Pour de futures recherches sur les différences possibles dans le comportement des conducteurs en fonction de leur connaissance ou non des passages à niveau, il faudrait disposer d'une définition opérationnelle de cette connaissance. À titre d'exemple, faut-il qu'un conducteur franchisse un passage à niveau tous les jours, quelques fois par semaine ou quelques fois par mois pour qu'on considère qu'il lui est familier? Une comparaison entre les conducteurs familiers avec un passage à niveau et ceux qui ne le sont pas quant au niveau d'implication de chaque groupe dans des accidents permettrait de déterminer si cette connaissance n'est qu'un effet de la fréquence d'utilisation. Enfin, il est peu probable que des recherches sur les accidents mortels (p. ex., Wigglesworth, 1979) puissent donner un portrait précis de la connaissance des passages à niveau puisque les conducteurs qui sont blessés mortellement ne peuvent porter témoignage de cette connaissance.

3.2.2 Ralentissement aux passages à niveau

Plusieurs études fondées sur l'observation montrent que beaucoup de conducteurs ralentissent lorsqu'ils approchent d'un passage à niveau (Shinar et Raz, 1982; Ward et Wilde, 1995b; Moon et Coleman, 1999). Il est toutefois difficile de déterminer si ces conducteurs ralentissent pour vérifier si un train est en vue ou pour d'autres raisons. Il est possible qu'ils ralentissent parce qu'il y a un bouchon de circulation devant eux ou pour d'autres motifs (parce qu'ils craignent que le franchissement de la voie soit rude, p. ex.). D'autre part, le ralentissement réel qui se produit aux passages à niveau peut accroître le danger pour le conducteur (Shinar et Raz, 1982; Moon et Coleman, 1999).

Shinar et Raz (1982) ont fait une recherche sur le comportement des conducteurs à un passage à niveau d'Israël dans cinq conditions différentes. Ils ont utilisé un passage à niveau qu'ils ont modifié à quelques reprises pour créer les conditions suivantes :

1) Passage à niveau non automatisé : les feux clignotants ont été recouverts et des panneaux sur lesquels était affiché «Ralentissez, signalisation en dérangement» ont été placés respectivement à 160 m et à 30 m du passage à niveau.
2) Feux clignotants éteints : des données ont été recueillies à des moments ou aucun train n'approchait.
3) Feux clignotants en marche : des données ont été recueillies au moment où un train devait atteindre le passage à niveau en moins de 40 secondes.
4) Feux clignotants éteints et demi-barrières ouvertes : des données ont été recueillies à des moments ou aucun train n'approchait.
5) Feux clignotants en marche et demi-barrières fermées : des données ont été recueillies à des moments où les feux clignotaient et où les barrières étaient fermées.

Dans toutes les conditions décrites ci-dessous, la signalisation israélienne standard pour les passages à niveau était en place, ce qui inclut une série de panneaux comportant trois, deux puis une bande diagonale placés respectivement à des distances de 250 m, 170 m et 100 m du

passage à niveau, ainsi qu'une croix d'avertissement (similaire à celle utilisée en Amérique du Nord) avant la voie ferrée.

En approchant du passage à niveau, les conducteurs ont réduit leur vitesse de manière importante, quelles qu'aient été les conditions établies dans le cadre de l'étude. Ils se sont approchés du passage à niveau non automatisé plus lentement qu'ils ne l'ont fait dans la situation où il y avait des feux clignotants éteints et dans la situation où il y avait à la fois des feux clignotants éteints et des barrières levées. Cependant, la diminution de vitesse observée dans la situation ou il n'y avait aucune signalisation automatisée était, pour environ 30 % des voitures, insuffisante pour qu'elles puissent être immobilisées de façon sûre si un train avait été aperçu. Ceci était dû en partie à une visibilité réduite à l'approche de passage à niveau (Shinar et Raz, 1982).

Shinar et Raz font remarquer que la situation dans laquelle un panneau affichait «Ralentissez, signalisation en dérangement» semble avoir incité les conducteurs à s'approcher de la voie ferrée à une vitesse plus faible que dans la situation où la signalisation automatisée était en place mais inactive. L'une des explications avancées pour ce ralentissement plus prononcé est la présence de l'affiche indiquant aux conducteurs que les signaux étaient en dérangement. Les auteurs de l'étude croient qu'en se rendant compte que les signaux ne fonctionnaient pas, les conducteurs comprenaient qu'il leur incombait de vérifier si un train venait au lieu de se fier à ces signaux. Dans la situation où la signalisation automatisée était en place mais inactive, les conducteurs se sont approchés du passage à niveau à une vitesse plus grande, ce qui, selon les auteurs, montre que les conducteurs font une plus grande confiance aux dispositifs d'avertissement automatiques pour les alerter en cas d'approche d'un train. Les auteurs avancent également que les conducteurs ont ralenti dans la situation où une signalisation automatisée était inactive parce qu'ils ne font pas entièrement confiance aux systèmes automatisés pour les avertir de la venue d'un train, sinon ils pourraient ne pas ralentir du tout à un passage à niveau automatisé. Shinar et Raz croient qu'il serait possible d'améliorer un système automatisé en informant les conducteurs que le système est en état de fonctionner (en indiquant l'état de fonctionnement au moyen d'un feu vert, p. ex.), même lorsque aucun train ne s'approche.

Dans une recherche portant sur 43 accidents survenus au Wisconsin et en Caroline du Nord à des passages à niveau munis de feux clignotants, Berg et coll. (1982) ont remarqué que dans beaucoup de situations où les conducteurs ont choisi de traverser la voie ferrée au moment où les feux clignotaient, ils l'ont fait alors que les feux étaient en marche depuis plus de 30 secondes avant que le train n'arrive au passage à niveau. Ils disent croire que les conducteurs de véhicule qui décident de franchir la voie alors que les feux clignotent le font peut-être parce que le long temps d'attente les rend impatients. Si les conducteurs se retrouvent fréquemment dans ce type de situation, ils peuvent en fait commencer à perdre confiance dans le système de signalisation et plutôt se fier à la présence ou à l'absence d'un train pour prendre la décision de franchir ou non une voie ferrée. Il est toutefois également probable que les conducteurs ont, face aux systèmes de signalisation dont sont munis les passages à niveau, des modes habituels de réaction qui ne dépendent nullement de la confiance.

Ward et Wilde (1995b) ont examiné le comportement des conducteurs à l'approche d'un passage à niveau muni de feux clignotants et d'une sonnerie, de jour et de nuit. Ils voulaient vérifier une hypothèse selon laquelle les conducteurs seraient plus prudents la nuit, peut-être parce que la visibilité est réduite ou à cause de difficultés de perception. Ils se sont servis d'un système automatisé d'acquisition et d'intégration de données utilisé pour le contrôle routier pour recueillir des données à divers points en direction du passage à niveau, des impulsions sonar mesurant la vitesse des véhicules. Deux observateurs prenaient note de l'allumage des feux de freinage au moment où les véhicules se dirigeaient vers le passage à niveau. L'allumage était mesuré en secondes/mètre (c'est-à-dire le temps mesuré en secondes pendant lequel les feux de freinage étaient allumés par rapport à la distance parcourue par le véhicule). Les données ont été recueillies au cours de deux semaines non consécutives, du lundi au vendredi, pendant l'été. Les périodes d'observation s'étalaient de 18 h 00 à 20 h 00 pour la situation de jour et de 22 h 00 à 00 h 00 pour la situation de nuit. L'observation se limitait aux véhicules seuls, non placés dans un courant de circulation, et l'étude ne portait que sur les automobiles, les camionnettes et les camions. Les véhicules professionnels, les véhicules portant des plaques d'immatriculation de l'extérieur de la province et les véhicules assujettis à une réglementation spéciale (les autobus scolaires, p. ex.) étaient exclus de l'étude.

Les résultats de la recherche ont montré que la majorité des conducteurs ralentissaient en approchant du passage à niveau, que ce soit de jour ou de nuit. Dans l'ensemble, les conducteurs de nuit roulaient à une vitesse plus faible en approchant du passage à niveau. La différence est statistiquement significative, mais en fait elle est marginale (64,01 km/h de jour, 61,79 km/h la nuit). Aucune différence n'a été observée entre le jour et la nuit en ce qui regarde le freinage. On a toutefois noté que les conducteurs freinaient plus fortement à mesure qu'ils approchaient de la voie ferrée. L'hypothèse voulant que les conducteurs soient plus prudents la nuit à l'approche des passages à niveau n'a été que faiblement confirmée. Seulement 20 % des conducteurs ont appliqué les freins, mais la plupart ont ralenti même s'ils n'ont pas freiné. Il est évident que des conducteurs ont ralenti sans appliquer les freins, soit en rétrogradant, soit en relâchant la pédale d'accélérateur; le seul freinage n'est donc pas nécessairement un bon indicateur de comportement des conducteurs aux passages à niveau.

Ward et Wilde (1995b) n'ont pas tenu compte de la probabilité qu'un train passe à l'endroit où l'enquête a été faite, et il n'y a pas eu de sélection des conducteurs en fonction de leur connaissance du passage à niveau. Les signaux n'ont pas été activés une seule fois au cours de l'étude. Les conducteurs habitués à franchir les passages à niveau pendant les heures de circulation plus intense des trains se seraient peut-être comportés différemment.

Moon et Coleman (1999) ont cherché à connaître et à comparer le comportement des conducteurs dont les véhicules sont insérés dans des groupes et celui des conducteurs dont les véhicules sont isolés en ce qui regarde le ralentissement à l'approche des passages à niveau. Dans cette étude, deux véhicules ou plus, de n'importe quel type, étaient traités comme un groupe, et dans les données recueillies les groupes étaient constitués de deux à cinq véhicules. Comme nous l'avons vu, des études précédentes avaient montré que les conducteurs d'un véhicule isolé ralentissent au moment où ils s'approchent d'un passage à niveau, mais personne n'avait analysé ce qui se passe pour les véhicules insérés dans un groupe ou de quelle façon le comportement de groupe ou individuel des conducteurs peut exercer un effet sur les paramètres temporels. Il a été présumé que les véhicules qui s'approchent d'un passage à niveau le font à une vitesse moyenne constante, habituellement la limite de vitesse. Moon et Coleman croyaient que le temps d'actionnement de quatre demi-barrières était trop court pour éviter que des

véhicules ne restent piégés sur les voies ferrées entre les barrières. La section 5 traite des recommandations faites au sujet de la conception des systèmes à quatre demi-barrières.

Des données ont été recueillies à deux passages à niveau situés sur le couloir ferroviaire à grande vitesse Chicago-Saint-Louis, à des moments de la journée où il y a une forte circulation, soit aux heures de pointe du matin et du soir, et à deux périodes différentes de l'année (octobre et juillet). Il s'agissait d'observer la formation de groupes de véhicules et les interactions entre ces véhicules au moment où ils approchent d'un passage à niveau. La réduction de la vitesse observée a été la même pour les véhicules isolés et les véhicules regroupés. Dans beaucoup de cas, les véhicules suivant un véhicule de tête roulaient fréquemment plus lentement que celui-ci. En fait, on a observé que la vitesse du véhicule de tête a un effet direct sur la vitesse des véhicules qui suivent. En outre, globalement les véhicules roulant au sein d'un groupe ont conservé une vitesse moyenne inférieure à celle des véhicules isolés. Moon et Coleman (1999) en sont venus à la conclusion, qu'à certains passages à niveau, les temps prévus pour l'actionnement des barrières et la mise sous tension des feux ne conviennent pas par rapport au ralentissement observable des véhicules et ont recommandé de prévoir une période plus longue d'abaissement des barrières.

Dans l'ensemble, aussi bien les conducteurs de véhicules isolés que les conducteurs de véhicules regroupés tendent à ralentir à l'approche d'un passage à niveau. Les raisons pour lesquels ils ralentissent ne sont toutefois pas entièrement évidentes. Le fait d'être conscients des risques possibles, dont celui de l'approche d'un train, peut inciter les conducteurs à ralentir. Cependant, le fait qu'on observe un tel ralentissement ne signifie pas nécessairement que les conducteurs adoptent un comportement prudent aux passages à niveau. Shinar et Raz (1982) ont remarqué que dans beaucoup de cas le ralentissement observé n'est pas suffisant pour que les conducteurs puissent faire les manœuvres voulues si un train se présente au passage à niveau ou si la signalisation automatisée est activée. En outre, comme le soulignent Moon et Coleman (1999), aux passages à niveau automatisés le moment où les barrières sont abaissées peut être inadéquat par rapport au temps que mettent les conducteurs à ralentir et ainsi faire courir à ceux-ci un risque accru de demeurer piégés sur les voies ferrées. Enfin, certains facteurs, comme les longs temps d'attente, peuvent amener les conducteurs à adopter des comportements plus risqués aux

passages à niveau (Berg et coll., 1982), dont celui qui consiste à ralentir pour évaluer la situation puis à tenter ensuite de franchir la voie ferrée devant un train qui semble s'approcher lentement. On trouvera à la section 3.2.4. une analyse de la façon dont les conducteurs ralentissent face à une signalisation automatisée activée.

3.2.3 Comportement des conducteurs aux passages à niveau non automatisés

Lerner et coll. (1990) et le NTSB (1998a) ont fait des examens poussés du comportement des conducteurs aux passages à niveau non automatisés et ces examens ne seront pas repris. Berg et coll. (1982) ont mené une recherche sur 36 accidents en recourant à des méthodes de reconstitution d'un accident. Dans 81 % des accidents il y avait eu erreur de reconnaissance, celle-ci étant définie comme une rupture dans la perception de l'information qui empêche : a) de reconnaître la présence ou l'approche d'un train et b) de discerner les actions possibles permettant d'éviter une collision. Dans 19 % des accidents, la reconnaissance trop tardive de la présence d'un train était en cause. La cause principale des erreurs de reconnaissance était la distance de visibilité limitée dans un quadrant. Des trains déjà engagés sur le passage à niveau n'ont pas été vus à cause de la noirceur ou parce que l'angle que fait la route avec la voie ferrée limitait la vision. Dans 18 % des accidents, il y avait eu erreur de décision. Le principal facteur contributif était l'inexpérience de conducteurs de voitures ou de chauffeurs de camions roulant sur une chaussée glissante. Le débit élevé ou la vitesse élevée de la circulation à certains passages à niveau ou les trains roulaient à faible vitesse peuvent avoir entraîné de l'indécision ou amené les conducteurs à prendre des risques.

3.2.4 Comportement des conducteurs aux passages à niveau automatisés

Des recherches antérieures ont montré que la fréquence des accidents à des passages à niveau munis de feux clignotants est au moins 10 fois plus élevée que celle observée aux passages à niveaux munis de barrières (Wigglesworth, 1979). Divers facteurs peuvent expliquer pourquoi les conducteurs courent un plus grand danger aux passages à niveau à feux clignotants, dont un réglage inadéquat des signaux (Berg et coll., 1982; Abraham et coll., 1998), l'absence d'obstacle physique au franchissement du passage à niveau (Meeker et coll., 1997) et une prise de risque de nature générale de la part des conducteurs (Abraham et coll., 1998).

Meeker et coll. (1997) ont comparé les résultats d'une étude par observation menée antérieurement sur le comportement des conducteurs à un passage à niveau de l'Indiana à ceux d'une nouvelle étude similaire au même passage à niveau après l'installation de barrières. Antérieurement, il n'y avait que des feux clignotants et une sonnerie à cet endroit, et on avait observé le comportement des conducteurs au moment où ils approchaient du passage à niveau alors que les feux clignotaient et que la sonnerie se faisait entendre, mais avant que le train n'atteigne la route. Le passage à niveau avait une longueur d'environ 20 m, s'élevait à environ 1 m au-dessus de la route et franchissait deux voies ferrées adjacentes séparées d'environ 4 m. On a observé, pendant le jour, des conducteurs qui arrivaient au passage à niveau après que les clignotants eurent été mis en marche et les barrières abaissées, mais avant que le train n'arrive au passage à niveau. Les observateurs enregistraient l'image du passage à niveau sur bande vidéo dès que le signal était activé, peu importe qu'il y ait ou non un véhicule sur place. Quatre types de données ont été recueillies : le fait que le conducteur s'arrête ou ralentisse de manière perceptible aux voies ferrées, le temps qui s'écoulait jusqu'à ce qu'un véhicule arrive au passage à niveau, le temps qui s'écoulait avant que le véhicule ne dégage la deuxième voie ferrée et le temps qui s'écoulait avant que le train n'arrive au passage à niveau. Les auteurs avaient formulé deux hypothèses : avec la présence de barrières, moins de conducteurs choisiraient de traverser les voies ferrées devant le train et, deuxièmement, la marge de sécurité des conducteurs contournant les barrières dans la deuxième étude serait moindre que celle des conducteurs passant outre aux feux clignotants dans l'étude précédente parce que le contournement des barrières exigeait une manœuvre en zigzag.

Dans la deuxième étude, 60 véhicules au total ont été observés au passage à niveau muni de barrières, soit 39 voitures et 21 camions (allant de camionnettes à des camions à benne). Dans la première étude, celle de 1989 (au moment où le passage à niveau n'était muni que de feux clignotants), les observations avaient porté sur 58 véhicules, soit 17 camions et 41 voitures. Dans la deuxième étude, 38 % des conducteurs ont franchi les voies ferrées en dépit des barrières et des feux clignotants. Dans ce groupe, 17 % se sont arrêtés avant de le faire et 30 % ont ralenti de manière visible. Pour ce qui est de la première étude, alors qu'il n'y avait que des feux clignotants, 67 % des conducteurs avaient franchi les voies ferrées alors que les feux clignotaient, 36 % avaient immobilisé leur véhicule avant de le faire et 51 % avaient ralenti de

manière visible. Dans le cas de la deuxième étude, alors que les barrières étaient en place, 52 % des conducteurs qui ont franchi le passage à niveau n'ont ni immobilisé leur véhicule ni ralenti avant de le faire, tandis que dans le cas de la première étude, seulement 13 % des conducteurs qui ont franchi les voies ferrées alors que les feux clignotaient avait agi ainsi. Des comportements similaires avaient été observés auparavant en ce qui regarde le ralentissement avant le franchissement des passages à niveau (Shinar et Raz, 1982; Ward et Wilde, 1995b; Moon et Coleman, 1999). C'est l'éclairage apporté sur d'autres comportements des conducteurs face à des dispositifs automatisés d'avertissement qui donne toute son importance à l'étude de Meeker et coll. (1997). Ainsi, les conducteurs qui ont contourné les barrières pour franchir les voies ferrées l'ont fait plus fréquemment sans s'arrêter ni ralentir que les conducteurs qui ont franchi les voies ferrées alors que les feux clignotaient, au moment où ces feux étaient le seul dispositif automatisé d'avertissement.

On n'a pas observé de différence significative entre les deux études en ce qui regarde la marge de sécurité des conducteurs ayant franchi le passage à niveau malgré les dispositifs d'avertissement. Pour ce qui est des observations faites au cours de la première étude, les conducteurs semblent se comporter de manière plus prudente, mais ils ralentissent ou s'arrêtent à un passage à niveau puis décident de le franchir malgré les feux clignotants. Comme le font remarquer Berg et coll. (1982), les conducteurs peuvent devenir impatients à des passages à niveau où des feux clignotent et prendre la décision de traverser la voie ferrée devant le train après avoir attendu pendant un moment que celui-ci n'arrive. Les conducteurs qui contournent les barrières pour franchir une voie ferrée peuvent également agir ainsi parce qu'ils ne veulent pas attendre que le train passe.

Åberg (1988) a observé le comportement des conducteurs à 16 passages à niveau munis de feux clignotants et, dans certains cas, de barrières, dans le but de cerner de manière précise leur façon de «regarder». Sa recherche a consisté principalement à observer les mouvements de tête des conducteurs à des passages à niveau situés dans une zone d'un rayon de 100 km autour d'Uppsala, en Suède. Des 16 endroits où des observations ont été faites, 14 étaient munis de signaux à feux clignotants, un passage à niveau était muni de barrières, tandis qu'à un autre on

était à installer de telles barrières. Le rapport de recherche ne dit rien de la fréquence des accidents à ces endroits.

On a observé les mouvements de tête des conducteurs et les obstacles à la visibilité à huit endroits en particulier. À tous ces endroits, il n'y avait qu'une seule voie ferrée. On a placé un observateur de chaque côté du passage à niveau. Un coefficient de corrélation (r) de 0,81 entre les observations des deux noteurs donne une mesure de la fiabilité des résultats. Des 584 conducteurs observés, 349 (60 %) n'ont fait aucun mouvement de tête, 145 (25 %) ont regardé dans les deux directions, 59 (10 %) ont regardé dans la direction où la visibilité était la moins restreinte et 31 (5 %) dans la direction où elle était la plus restreinte. Le nombre de conducteurs qui ont regardé dans la direction où la visibilité était restreinte a été significativement inférieur au nombre de ceux qui ont regardé dans la direction où la visibilité était meilleure (Åberg, 1988). Åberg avance l'idée que les conducteurs, s'ils regardent sur la voie ferrée, sont plus enclins à tourner la tête vers l'endroit où la vision est moins obstruée et à se fier aux dispositifs automatisés du passage à niveau pour les informer au sujet de la venue éventuelle de trains. En outre, il peut être plus facile de regarder dans la direction où la visibilité est moins restreinte, particulièrement lorsqu'on s'approche d'un passage à niveau sur une route parallèle à la voie ferrée. Dans un tel cas, les conducteurs n'ont pas besoin de tourner la tête pour voir un train venir devant (il est alors presque directement devant eux), mais il faut un fort mouvement de tête pour regarder derrière le véhicule. En fait, la fréquence des accidents entre un train et un véhicule est sept fois plus élevée lorsque les trains s'approchent d'un passage à niveau dans une direction qui le situe derrière le véhicule (Åberg, 1988). Trente-trois conducteurs (69 %) roulant dans les deux directions sur une route parallèle à la voie ferrée ont été observés au passage à niveau. Les résultats ont révélé que seulement un tiers (33 %) de ces conducteurs ont regardé derrière eux pour voir si un train venait de l'arrière. En ce qui concerne ceux qui n'ont pas regardé, l'auteur croit qu'ils s'en sont entièrement remis aux dispositifs automatisés d'avertissement pour leur signaler la venue éventuelle de trains. Pour Åberg, les personnes qui ont regardé dans les deux directions cherchaient à obtenir une information venant renforcer celle que leur fournissaient déjà les dispositifs automatisés du passage à niveau, une hypothèse qui va dans le sens de la théorie de Shinar et Raz (1982) voulant que les conducteurs ne fassent pas totalement confiance aux systèmes automatisés d'avertissement (voir également Chugh et Caird, 1999).

Abraham et coll. (1998) ont mené une recherche à 37 sites de passages à niveau au Michigan dans le but de déterminer dans quelle mesure les conducteurs commettent des infractions à des passages à niveau munis de dispositifs de signalisation automatisés. Les sites ont été répartis en quatre groupes. Le premier groupe comprenait 18 sites se caractérisant par la présence de voies ferrées multiples, un passage à niveau pour route à plusieurs voies, la présence de barrières et de feux rouges clignotants. C'est dans ce groupe qu'il y avait eu le plus grand nombre moyen d'accidents au cours des sept années précédant l'étude. Les auteurs font remarquer qu'il s'agit d'un phénomène intéressant, eu égard au fait que ces sites étaient les mieux protégés sur le plan de la présence de dispositifs de signalisation et de barrières. Il n'y a toutefois pas d'analyse du taux de risque et, de façon générale, les passages à niveau offrant le plus de protection (munis de barrières, p. ex.) ont aussi un débit de circulation plus élevé. Le deuxième groupe comprenait 6 sites se caractérisant par la présence de plusieurs voies ferrées, un passage à niveau pour route à voie unique (c'est-à-dire une voie dans chaque direction), la présence de barrières et de feux rouges clignotants. Le troisième groupe comprenait 8 sites à voie ferrée unique, avec passage à niveau pour route à plusieurs voies et qui étaient munis seulement de feux rouges clignotants. Enfin, le quatrième groupe comprenait 5 sites à voie ferrée unique, avec passage à niveau pour route à voie unique et munis seulement de feux rouges clignotants. L'activité aux passages à niveau a été enregistrée sur bande vidéo pendant environ 3,5 jours, à raison de 2,5 heures par jour.

Les infractions ont été classées sur une échelle de 1 à 5, en fonction du niveau de risque : 1 = courante (peu dangereuse) 2 = risquée, 3 = passablement risquée, 4 = grave, et 5 = infraction très dangereuse. À titre d'exemple, il a été déterminé qu'il y avait infraction courante quand un véhicule franchissait la voie ferrée plus de 4 secondes après le passage du train, mais avant que les signaux ne soient éteints. Une infraction risquée était la même qu'une infraction courante, mais elle se produisait quand le véhicule franchissait la voie ferrée moins de 4 secondes après le passage du train. Il y avait infraction passablement risquée quand le véhicule franchissait la voie ferrée de 8 à 10 secondes avant que le train n'arrive et que les barrières et les feux ne soient activés. Une infraction grave était définie de la même façon qu'une infraction passablement risquée, mais elle était commise à un moment où les barrières étaient entièrement abaissées ou, s'il n'y avait pas de barrières, quand le véhicule franchissait la voie ferrée de 4 à 8 secondes

seulement avant que le train n'arrive. Il y avait infraction très dangereuse si les barrières étaient abaissées et si le véhicule franchissait la voie ferrée moins de 5 secondes avant que le train n'arrive ou, s'il n'y avait que des feux rouges clignotants, si le véhicule franchissait la voie ferrée moins de 4 secondes avant que le train n'arrive. Des infractions commises par les conducteurs qui ont été observés, 27 % étaient des infractions courantes, 33 % des infractions risquées, 19 % des infractions passablement risquées, 19 % des infractions graves et 2 % des infractions très dangereuses. Soixante-quatre pour cent (64 %) des infractions ont été commises par des hommes et ceux-ci ont commis plus de la moitié des infractions dans chacune des catégories établies en fonction du niveau de risque.

Abraham et coll. (1998) ont posté des questionnaires à 820 conducteurs qu'on avait vu commettre une infraction. Leur numéro de plaque d'immatriculation a été utilisé pour connaître leur adresse postale. Deux cent soixante-seize d'entre eux ont retourné le questionnaire, ce qui donne un taux de réponse de 33,7 %. De ceux-ci, 68 % ont dit qu'ils utilisaient le passage à niveau au moins 4 fois par semaine et 19 % qu'ils l'utilisaient de 2 à 4 fois par semaine. La plupart des répondants ont dit qu'ils ne tenaient pas compte des signaux ou contournaient les barrières parce que «le train n'était pas en vue» ou parce que «le train était arrêté pendant un temps beaucoup trop long». À aucun moment pendant l'étude les chercheurs n'ont vu les policiers intervenir à l'un ou l'autre des endroits pour faire appliquer les règlements de la circulation.

Si on se fie à ces résultats, il semble que certains conducteurs sont tout à fait prêts à ne pas tenir compte d'un signal actif et à franchir la voie ferrée devant un train qui vient, dans une tentative de le battre de vitesse peut-être (Abraham et coll., 1998; Berg et coll., 1981; Meeker et coll., 1997). Pour Berg et coll. (1981) comme pour Abraham et coll. (1998), le réglage des signaux est l'une des raisons pour lesquelles les conducteurs ont franchi les passages à niveau alors que les feux clignotaient encore. Dans l'étude de Berg et coll. (1981), les conducteurs étaient davantage enclins à traverser la voie ferrée quand le signal avait été activé pendant plus de 30 secondes. Des temps d'attentes inutiles étaient attribués à la présence de trains roulant à basse vitesse (des trains de marchandises, p. ex.) sur des voies ferrées conçues pour la circulation de trains rapides (des trains de voyageurs, p. ex.). Dans l'étude d'Abraham et coll., les répondants au

questionnaire ont fait valoir qu'ils sont passés outre aux feux clignotants ou aux barrières parce que le train n'était pas en vue ou parce qu'il était demeuré immobilisé pendant beaucoup trop longtemps.

Quand les conducteurs font des suppositions à propos de la vitesse d'un train qui vient ou de l'endroit où il se trouve et se fient à ces suppositions pour passer outre à la signalisation des passages à niveau, plusieurs dangers les guettent. Premièrement, une visibilité restreinte peut empêcher les conducteurs s'approchant d'un passage à niveau dont les feux de signalisation clignotent de voir le train et les amener ainsi à croire, à tort, qu'aucun train ne vient. Deuxièmement, si un train est immobilisé près d'un passage à niveau traversant plusieurs voies, il peut arriver que les signaux observés par le conducteur avertissent en fait de l'approche d'un autre train dans la direction opposée ou d'un train venant derrière le train immobilisé sur une voie parallèle. On donne le nom d'accident de deuxième train à de tels événements. Troisièmement, des facteurs de perception, comme les mirages, peuvent fausser le jugement des conducteurs sur la distance à laquelle se trouve un train par rapport au passage à niveau. Les difficultés qu'éprouvent les conducteurs à juger de la vitesse à laquelle un train approche et de la distance qui le sépare d'un passage à niveau sont bien documentées (Leibowitz, 1985; Mortimer, 1988; NTSB, 1998a). À titre d'exemple, l'étude du NTSB de 1986 sur la sécurité fait remarquer que les trains de voyageurs roulent beaucoup plus vite que les trains de marchandises et que les deux genres de trains utilisent souvent le même réseau de voies. Ceci peut amener des conducteurs tout à fait habitués à la circulation de trains de marchandises à croire qu'ils peuvent battre un train de vitesse. En outre, Wigglesworth (1979) fait valoir que les trains rapides réduisent le temps dont dispose le conducteur pour prendre une décision. Dans 64 des 85 cas qu'il a analysés, ce sont des trains de voyageurs qui étaient en cause dans l'accident, des trains de marchandises plus lents étant en cause dans les autres. L'étude de Wigglesworth (1979) ne portait que sur des accidents mortels. Les collisions avec les trains de voyageurs roulant à plus grande vitesse sont plus susceptibles d'entraîner le décès du conducteur ou de passagers.

3.3 Résumé des conclusions tirées de l'examen de la documentation

- L'habitude d'utiliser un passage à niveau exerce de diverses façons un effet sur le comportement des conducteurs. Les conducteurs habitués à utiliser un passage à niveau peuvent passer outre aux signaux d'avertissement s'ils anticipent une longue attente et éventuellement balayer moins attentivement la voie du regard pour détecter l'approche d'un train.
- De façon générale, les conducteurs ralentissent en approchant d'un passage à niveau, que leur véhicule soit isolé ou inséré dans un groupe. On a attribué ce ralentissement à divers motifs, dont le fait pour les conducteurs de se préparer à franchir une voie ferrée créant une chaussée à surface inégale, à un manque de confiance aux dispositifs d'avertissement automatiques et à une intention de balayer la voie ferrée du regard pour vérifier si un train vient. Il n'a pas été nettement démontré qu'il existe des différences significatives entre le jour et la nuit en ce qui regarde le ralentissement à l'approche d'un passage à niveau, et on a uniquement enregistré une légère diminution de la vitesse durant la nuit par rapport au jour.
- Le réglage du moment d'actionnement des barrières et des feux est souvent fait en fonction de la limite de vitesse pour la route en cause; il peut donc arriver que des conducteurs qui ralentissent au passage à niveau ne disposent pas d'un temps suffisant, eu égard au réglage des feux, pour traverser la voie ferrée s'ils choisissent de le faire. À titre d'exemple, les conducteurs qui ralentissent en approchant d'un dispositif à quatre barrières et poursuivent leur route pour franchir la voie ferrée courent le risque, selon le moment où les signaux sont activés, de rester piégés entre les barrières.
- Il a été démontré que la probabilité que les conducteurs commettent des erreurs de reconnaissance aux passages à niveau non automatisés est plus élevée parce qu'ils peuvent simplement ne pas voir les trains. En outre, l'obstruction de la ligne de visibilité est particulièrement dangereuse à ces passages à niveau parce que le conducteur n'est alors pas en mesure de voir assez loin pour détecter la présence d'un train.
- L'automatisation de la signalisation aux passages à niveau permet de réduire de manière spectaculaire les erreurs de reconnaissance, mais elle entraîne d'autres formes d'erreurs de comportement chez les conducteurs. Selon son niveau, l'automatisation peut inciter des conducteurs à passer outre aux signaux d'avertissement lorsqu'ils doivent attendre

longtemps. Dans l'ensemble, les conducteurs adoptent divers comportements dangereux aux passages à niveau automatisés, dont celui consistant à contourner des barrières ou, dans le cas des passages à niveau munis seulement de feux clignotants, des véhicules immobilisés.

4. TAXINOMIE DES FACTEURS INTERVENANT DANS LES ACCIDENTS AUX PASSAGES À NIVEAU

4.1 Introduction

Des taxinomies des erreurs, ont semble-t-il, été établies dans plusieurs domaines pour servir d'outils descriptifs ou théoriques. Une telle taxinomie peut se révéler utile pour certains spécialistes si elle les aide à trouver une réponse à la question qu'il pose (Senders et Moray, 1991). Ainsi, elle peut aider à comprendre certaines situations courantes propices à la commission d'erreurs ou servir d'outil pour attribuer un blâme. C'est sans doute moins pour l'attribution de blâmes en soi que les taxinomies des erreurs peuvent être utiles que pour mieux comprendre les comportements erratiques et trouver des correctifs aux situations qui sont source d'erreurs fréquentes. Il n'est pas toujours possible d'en arriver à un consensus des concepteurs ou des utilisateurs sur un système de classification.

Les taxinomies des erreurs souffrent de plusieurs limites (Leveson, 1999; Meister, 1989; Rasmussen, 1990; Reason, 1993; Senders et Moray, 1991). Certains systèmes de classification établissent des classes trop finement définies et ne produisent que très peu de classifications utiles. Les catégories trop abstraites ou mal définies ne permettent pas de situer les accidents de manière fiable dans une catégorie donnée. Les catégories sont souvent particulières et ne permettent pas de classer plusieurs événements dans une catégorie, plusieurs événements dans plusieurs catégories ou un événement dans plusieurs catégories. Les bases de données imposent leurs propres contraintes aux systèmes de classification et peuvent ne pas accepter divers types de données et de relations. Il arrive fréquemment qu'une base de données soit construite sans qu'on sache comment ou à quelle fin elle sera interrogée. L'ajout ou la suppression de catégories est une source de problèmes. Les catégories utilisées dans une base de données peuvent ne pas avoir de rapport avec les catégories utilisées dans une autre base de données (même si elles sont nommées de la même façon). Il arrive fréquemment qu'on enregistre des accidents à partir de catégories, au lieu d'enregistrer les détails initiaux sur ces accidents, de sorte que cette information est perdue.

4.2 Inventaire des facteurs

Au cours de l'examen de la documentation, nous avons inventorié les éléments suivants comme facteurs contributifs à des accidents survenus à des passages à niveau, comme sources de données sur ces accidents ou comme résultats de ceux-ci.

1. Angle que fait la voie avec la route
2. État de la route et des voies ferrées
3. Position et état de la signalisation et des marquages sur la chaussée
4. Élévation du passage à niveau
5. Conditions météorologiques
6. Moment de la journée
7. Temps de l'année
8. Gravité des blessures
9. Décès
10. Dommages matériels
11. Alcool
12. Utilisation fréquente du passage à niveau
13. Type de véhicule (voiture, camion ou autobus)
14. Âge du conducteur
15. Visibilité du train
16. Vitesse du train
17. Vitesse du véhicule
18. Source de distraction pour le conducteur
19. Comportements imprudents
20. Conditions dangereuses

4.3 Analyse de la taxinomie

Les combinaisons logiques de ces facteurs, dont certains se chevauchent, ont donné lieu à une taxinomie comportant plusieurs niveaux de catégorisation. La figure 4.1 reproduit la taxinomie des facteurs intervenant dans les accidents aux passages à niveau. C'est une tentative de saisir

des facteurs contributifs communs et les relations multiples entre les facteurs, tout en évitant certains des problèmes d'établissement d'une taxinomie décrits ci-dessus. Ce schéma est destiné à servir de guide dans le choix des questions à poser à propos des facteurs contributifs de nature physique, liés à l'environnement, aux véhicules ou aux conducteurs. La mise en lumière des facteurs contributifs possibles réduit les risques d'omission de certains de ces facteurs. L'élaboration d'une taxinomie des facteurs contributifs dans les accidents aux passages à niveau a pour but de faire ressortir les phénomènes communs qui se dégagent de l'examen de la documentation.

Les principales catégories établies sont les comportements imprudents, les différences individuelles, la visibilité du train, la signalisation non automatisée et les marquages sur la chaussée, les systèmes d'avertissement automatisés et les contraintes physiques. Les catégories principales et secondaires peuvent être utilisées pour poser des hypothèses à propos de cas particuliers ou de données agrégées sur les accidents. La tentative de déterminer les raisons pour lesquelles un accident s'est produit doit souvent être ramenée à un examen des comportements et des erreurs du conducteur. Ces facteurs communs sont énumérés dans les catégories restantes.

Rouler trop vite en approchant d'un passage à niveau, ne pas regarder si un train vient ou se laisser distraire par des choses de l'extérieur ou de l'intérieur du véhicule, voilà autant de comportements qui sont, par définition, des comportements imprudents. Pour certains, le comportement que les conducteurs adoptent avant et pendant qu'ils franchissent un passage à niveau est fort risqué. Les catégories établies dans la taxinomie permettent à ceux qui font des enquêtes ou de la recherche de poser des hypothèses sur les facteurs ayant pu intervenir dans un accident en se fondant sur de nombreuses études antérieures. La connaissance de la signalisation avancée, la capacité de détecter et de comprendre les panneaux de signalisation et les signaux ainsi que la capacité de juger correctement de la ligne de conduite à adopter quand un train approche varient selon les conducteurs. En outre, si les facultés des conducteurs sont altérées par des drogues ou l'alcool, ou s'ils ont subi une perte fonctionnelle découlant d'une maladie ou du vieillissement, leur capacité de détecter la signalisation avancée, de la traiter mentalement et de réagir adéquatement s'en trouve réduite. Les conditions météorologiques et d'éclairage (le brouillard, la pluie, la neige la noirceur, l'éblouissement par le soleil, p. ex.) peuvent entraver la

capacité de voir un train et la signalisation avancée. L'angle que fait la route par rapport à la voie ferrée, tout comme la présence de végétation, de bâtiments et autres obstructions de la vue, peut également réduire la visibilité des trains.

L'analyse des facteurs humains est un vaste domaine recourant à de nombreuses disciplines. Elle fait appel à l'étude du comportement humain (capacités et limites) tout aussi bien qu'à la conception et à l'utilisation de systèmes et de dispositifs. Bien qu'il ne soit pas possible de classer les six catégories de facteurs que reproduit la figure 4.1 par ordre d'importance en ce qui regarde l'apport des facteurs humains, il semble que les comportements imprudents et les différences individuelles soient les types de facteurs humains qui interviennent de la manière la plus évidente dans les accidents aux passages à niveau. Le comportement imprudent relève dans une grande mesure d'une propension à prendre des risques et d'un traitement inadéquat de l'information de la part du conducteur du véhicule, tandis que les différences individuelles renvoient aux capacités et attributs particuliers des conducteurs qui influencent leur prise de décision et leur comportement. Les actions humaines (intégrant les limites et déficiences des conducteurs) et les différences individuelles des conducteurs qui interagissent avec l'environnement routier (intégrant les dispositifs de contrôle de la circulation) entrent en jeu lorsqu'on examine les questions de visibilité des trains, de contraintes physiques et d'efficacité des dispositifs de contrôle de la circulation (systèmes d'avertissement, panneaux de signalisation et marquage de la chaussée). Des facteurs humains (action et capacité du conducteur) interagissent avec ces facteurs physiques, y compris l'état de l'environnement, dont les conditions météorologiques et la noirceur, pour créer un degré variable de sécurité aux passages à niveau. Étant donné qu'il est démontré que l'erreur humaine ou un comportement inadéquat est un facteur contributif dans près de 90 % des accidents de la route (Treat et coll., 1979), il est essentiel de comprendre les perceptions et les actions des conducteurs lorsqu'on examine les questions de sécurité aux passages à niveau. La probabilité qu'une pure défaillance mécanique entraîne une collision entre un véhicule et un train est nettement moindre (voir, p. ex., Treat et coll., 1979).

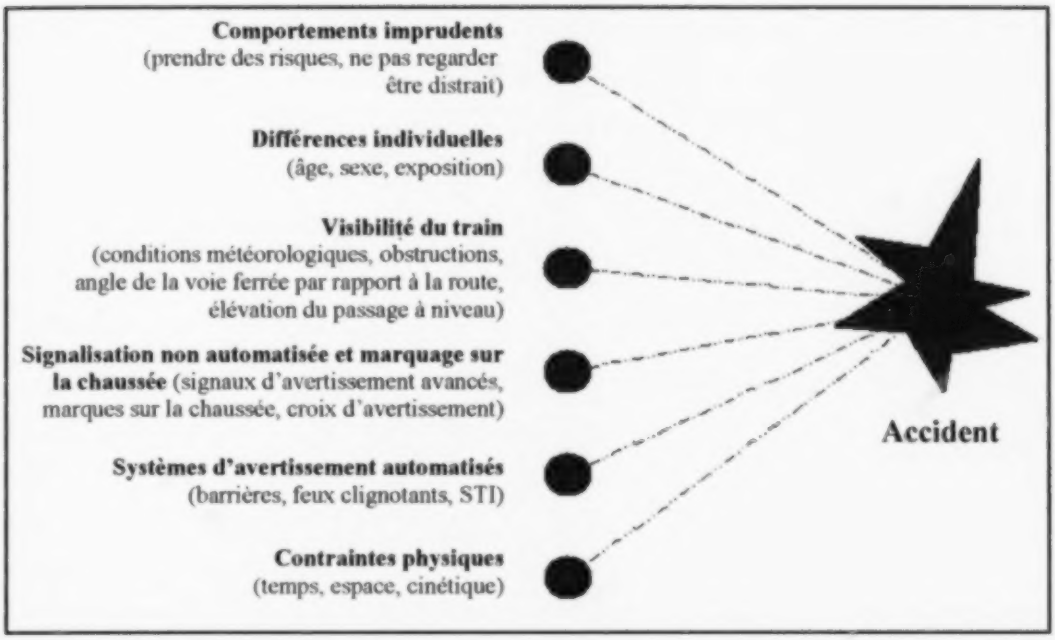

Figure 4.1 Taxinomie des facteurs intervenant dans les accidents aux passages à niveau

Les systèmes d'avertissement automatisés incluent les barrières et les feux et incluront, à l'avenir, les systèmes de transports intelligents (STI). La section 2 décrit les conditions qui, au Canada, justifient l'installation de barrières et de feux. La densité de la circulation des véhicules et des trains, le nombre de voies ferrées que traverse le passage à niveau, la fréquence des accidents antérieurs, les coûts et d'autres aspects de la conception des ouvrages sont autant de facteurs pris en compte dans la décision d'installer ou non de tels systèmes. L'intervention la plus poussée consiste à installer des barrières, destinées à empêcher les véhicules de traverser les voies ferrées, et des sonneries. Les sonneries sans barrières avertissent de l'approche d'un train, mais ne font pas obstacle au franchissement du passage à niveau. La section 5 décrit les nouveaux modèles de STI, de feux et de barrières. Ni la présence de dispositifs d'avertissement automatisés (feux, barrières) ni celle de dispositifs non automatisés (panneaux de signalisation, marques sur la chaussée) ne peuvent empêcher les conducteurs qui en ont l'intention de franchir une voie ferrée devant un train. La capacité des conducteurs de détecter et de comprendre les dispositifs d'avertissement avancés, de même que leur volonté de respecter cette signalisation, ne donne qu'une efficacité relative à ces dispositifs.

Les spécialistes de la reconstitution des accidents peuvent, s'ils le désirent, reconstituer les contraintes physiques tels que le temps, l'espace et la cinétique. Cet exercice permet de répondre à certaines questions fondamentales quant à l'endroit, au moment et au résultat de collisions entre un train et un véhicule. Eu égard à la masse et à la distance de freinage des trains, les résultats ne sont généralement pas favorables au véhicule et les mécaniciens n'ont guère de choix quand un véhicule approche d'un passage à niveau d'une façon qui conduit à une collision. Le coefficient de frottement à la surface de la route et de la voie, qui peut varier en fonction des conditions météorologiques, peut également exercer un effet sur la distance de freinage.

5. EXAMEN DE LA DOCUMENTATION SUR LES CONTRE-MESURES

Cette section a pour but d'examiner les technologies actuelles et de pointe destinées à diminuer la fréquence et la gravité des accidents aux passages à niveau. L'analyse des contre-mesures porte successivement sur les types de passages à niveau (à signalisation automatisée et non automatisée), les modifications apportées aux trains et les STI. Dans toutes les études sur lesquelles a porté l'examen, la détermination du degré d'efficacité d'une contre-mesure donnée a constitué un critère de sélection de premier plan. Le caractère adéquat des méthodes utilisées par les auteurs a servi de critère secondaire. Plusieurs études recensées ne répondaient pas à l'un ou l'autre ou ne répondaient à aucun des deux critères de sélection. Certaines parties de la recherche exigeaient la production d'un rapport montrant le statut de la recherche dans ce domaine, de sorte que certaines études qui ne répondaient pas aux critères ont été retenues. Il n'a pas été possible d'obtenir certains rapports techniques par l'entremise des services de la bibliothèque de l'Université de Calgary ou d'Internet. L'examen des études sur un type donné de contre-mesures n'est donc pas nécessairement exhaustif, mais ces études sont raisonnablement représentatives pour chacun des types. La section 5.5 établit des comparaisons de l'efficacité et des coûts des diverses contre-mesures.

5.1 Contre-mesures aux passages à niveau non automatisés

Le NTSB (1998a) a dégagé un certain nombre de problèmes communs aux passages à niveau à signalisation non automatisée, dont les suivants :

- l'efficacité des systèmes de signalisation actuels pour avertir les conducteurs de la présence d'un passage à niveau et à l'approche d'un train;
- l'environnement des chemins de fer et des voies qui réduit la capacité d'un conducteur à détecter le présence d'un train qui vient;
- les facteurs comportementaux qui réduisent la capacité d'un conducteur à détecter le présence d'un train qui vient;
- la pertinence du matériel de formation des conducteurs portant sur les dangers des passages à niveau non automatisés et sur ce que doivent faire les conducteurs;

- la nécessité de recourir à une démarche systématique et uniforme en matière de sécurité aux passages à niveau non automatisés;
- la nécessité d'installer une meilleure signalisation aux passages à niveau privés non automatisés.

Les solutions à ces problèmes complexes vont exiger davantage de recherches sur l'efficacité des contre-mesures déjà apportées, des modifications aux politiques et aux lois en vigueur et des évaluations de nouvelles technologies. Il faut noter en particulier que la SAPN actuellement en place ne permet aux conducteurs de savoir si les passages à niveau dont ils s'approchent sont automatisés ou non. En Europe, au contraire, avec quelques variations d'un pays à l'autre, la SAPN inclut des panneaux donnant cette information. Le NTSB (1998a) recommande que la SAPN dise au conducteur ce qu'il doit faire – de regarder dans les deux directions pour vérifier si un train approche et de réduire sa vitesse jusqu'au niveau approprié, par exemple. Le fait que la SAPN soit demeurée la même depuis plus de 50 ans peut être attribué, au moins partiellement, aux techniques de construction routière.

L'une des contre-mesures automatisées ou non consiste à installer des lampadaires à l'intersection de la route et de la voie ferrée. Quarante-sept passages à niveau ruraux de l'Iowa ont fait l'objet d'une surveillance après qu'on y eut installé des lampadaires (Walker et Roberts, 1975). Les données sur les accidents survenus pendant les trois années précédant l'installation de ces lampadaires et pendant les trois années qui l'ont suivie ont été comparées. Aucun changement autre que cette installation de lampadaires n'a été effectué aux passages à niveau en cause pendant les six années au cours desquelles l'enquête a été menée. Partout à l'intérieur de l'État, les heures de lever et de coucher du soleil ont servi à déterminer si un accident de produisait au cours de la nuit ou pendant le jour. Il y avait eu 90 accidents pendant la nuit aux 47 passages à niveau étudiés au cours des trois années précédant l'installation des lampadaires. Après l'installation, on a enregistré 46 accidents survenus de nuit, ce qui donne une diminution de 49 %, et ce malgré une augmentation moyenne d'environ 11 % de la circulation routière entre les deux périodes. En tenant compte de ce changement dans l'intensité de la circulation, la réduction du nombre d'accidents atteint 52 %. À l'opposé, aucun changement significatif dans le

nombre d'accidents survenus durant le jour n'a été observé au cours de la période de six ans, tant avant qu'après l'installation des lampadaires.

La plus forte diminution des accidents de nuit s'est produite aux passages à niveau où le débit de circulation quotidien moyen était de 3 500 véhicules ou plus. D'autres données ont montré que le nombre de lampadaires installés aux passages à niveau ne modifiait pas le taux d'accidents. Ce nombre n'était supérieur à cinq à aucun passage à niveau.

Le milieu des chercheurs spécialisés dans le transport par système léger sur rail (SLR) connaît bien la nécessité d'avertir les piétons et les conducteurs de véhicules de la présence d'un deuxième train (Korve et coll., 1996). Khawani (2001) fait le point sur un projet en cours visant à évaluer l'efficacité d'un système d'avertissement de la présence d'un deuxième train pour le SLR de Los Angeles County. On a choisi, pour ce projet, un endroit où plusieurs piétons ont été heurtés par un train et où la géométrie du passage à niveau faisait en sorte qu'il était difficile pour les piétons de détecter l'approche d'un deuxième train. En semaine, de 15 à 20 fois par jour deux trains se rencontraient à ce passage à niveau ou près de celui-ci. Un groupe de spécialistes en sécurité des transports s'est réuni pour concevoir et proposer plusieurs types de dispositifs d'avertissement. Des entrevues ont ensuite été menées près du passage à niveau pour connaître les préférences des utilisateurs et leur compréhension du message devant être transmis (c'est-à-dire qu'un deuxième train approche en direction opposée sur l'autre voie).

Le dispositif de signalisation évalué était un panneau indicateur à fibres optiques à deux faces, de 3 pieds de hauteur et de 4 pieds de largeur, placé à 7 pieds au-dessus du trottoir. Il était activé au moyen d'un déclencheur placé dans le circuit du train et, pour indiquer que deux trains approchaient, il montrait à gauche un train vers lequel pointait une flèche, puis à droite un train vers lequel pointait également une flèche, en alternance. Du matériel éducatif fut distribué dans les quartiers avoisinant l'endroit où le panneau devait être installé. Des affiches et des circulaires furent utilisés pour faire en sorte que les piétons sachent que le panneau indicateur serait installé et ce qu'il indiquait.

Les données préliminaires ont montré que le nombre de piétons pénétrant dans la zone des voies ferrées au moment de l'approche de deux trains a diminué après l'installation du prototype de panneau indicateur. Les données pour la période antérieure à l'installation du panneau ont été recueillies du 24 mars au 9 juin 2000, tandis que celles de la période postérieure à l'installation du panneau ont été recueillies du 30 juillet au 15 septembre 2000. Avant que le panneau soit installé, environ 379 piétons ont pénétré dans la zone des voies ferrées 15 secondes ou moins avant l'arrivée d'un deuxième train au passage à niveau. Après l'installation du panneau, ce nombre est tombé à environ 108 piétons. En outre, avant l'installation du panneau environ 64 piétons ont pénétré dans la zone des voies ferrées 6 secondes ou moins avant l'arrivée d'un train au passage à niveau, comparativement à 14 après l'installation du panneau. Ces chiffres doivent toutefois être interprétés avec précaution, car au cours de la période précédant l'installation du panneau on a observé des approches simultanées de deux trains à 1 353 occasions alors qu'après l'installation du panneau l'événement ne s'est produit que 755 fois au cours de la fenêtre d'observation. En outre, on ne sait pas si les variations saisonnières au cours de ces deux périodes différentes de collecte de données ont eu une influence sur le nombre de piétons utilisant le passage à niveau. La diminution du nombre de piétons s'engageant sur le passage à niveau pourrait être due à une diminution du nombre de piétons en été par rapport au printemps. Il faudra recueillir davantage de données sur le nombre de piétons après les événements pour établir un équilibre entre les conditions antérieures et postérieures.

Ce système d'avertissement a été conçu expressément pour un SLR établi dans une zone urbaine et ne se transpose pas nécessairement à des passages à niveau où la circulation des trains est plus faible, à des passages à niveau non automatisés situés en milieu rural, par exemple. Cependant, pour les passages à niveau plus achalandés en milieu urbain, particulièrement aux endroits où une voie ferrée utilisée pour les trains de marchandises côtoie les voies d'un SLR (comme à Calgary, p. ex.), il pourrait inspirer la mise au point de prototypes de systèmes d'avertissement pour les piétons et les conducteurs. Les panneaux indicateurs automatisés, tout comme les feux clignotants et les barrières, coûtent plus chers que les panneaux indicateurs ordinaires et il faudrait en évaluer les coûts et avantages.

Hanafi (1997a) a analysé des systèmes utilisés dans divers pays pour avertir les piétons de l'approche d'un deuxième train et vérifié s'ils répondent aux critères suivants :

- Le système affiche un message ou un signal clair indiquant qu'un deuxième train est sur le point d'arriver.
- Le panneau ou le signal n'est affiché qu'au moment où un deuxième train approche du passage à niveau.
- Le dispositif d'avertissement de l'approche d'un deuxième train est distinct de celui avertissant de l'approche d'un premier train.
- L'avertissement est bien destiné aux piétons.

Bien que l'étude décrive en détail les aspects techniques des panneaux indicateurs et des signaux avertissant de l'approche d'un deuxième train, ni cette étude ni les exploitants des systèmes examinés n'ont fait une analyse de leur efficacité. À certains passages à niveau, aucun accident ne s'est produit, que ce soit avant ou après l'installation de ces dispositifs, de sorte qu'aucune comparaison des taux d'accidents n'est possible.

La capacité des conducteurs de comprendre correctement la signification de la signalisation avancée et de celle mise en place aux passages à niveau mêmes est un problème connu depuis longtemps (Richards et Heathington, 1986; NTSB, 1998a) et davantage de recherches ont porté sur cette question récemment (Lerner, 2002). La SAPN offre peu d'informations utiles autres que celle de signaler l'existence d'un passage à niveau (Mortimer, 1988). Une signalisation indiquant si le passage à niveau est automatisé ou non serait utile. Une signalisation symbolique soumise à des essais portant sur la compréhension des conducteurs pourrait également se révéler utile. Des modèles de dispositifs d'avertissement tels que la croix d'avertissement utilisée au Canada (Ells et coll., 1980), s'ils subissent avec succès les essais nécessaires, peuvent améliorer de manière importante le temps de perception-réaction et la lisibilité.

Un certain nombre de dispositifs facultatifs et supplémentaires ont été utilisés pour renforcer la sécurité. À titre d'exemple, en 1993 l'Australie a lancé l'utilisation facultative d'un panneau-cible rouge (la croix d'avertissement sur un panneau rouge rectangulaire) pour accroître la

visibilité de ce type de signalisation aux endroits où c'est nécessaire. Dans certains pays (en Australie, en Israël et au Royaume-Uni, p. ex.) les conducteurs sont informés des distances qui les séparent du passage à niveau au moyen de panneaux supplémentaires. En outre, la présence de signaux avertisseurs automatisés est indiquée au moyen d'une SAPN particulière. Certains pays (dont l'Australie) fournissent également des renseignements supplémentaires à certains passages à niveau au moyen de panneaux indiquant par exemple «Traversée de trains», «Attention aux trains», «Arrêtez» ou «Cédez». Il serait utile, particulièrement aux passages à niveau non automatisés, d'indiquer que les voies sont dégagées (qu'aucun train n'approche). En Suède, on fait cela au moyen d'un feu blanc au passage à niveau. L'utilisation d'un ruban rétroréfléchissant sur les poteaux des croix d'avertissement aide les conducteurs à détecter la présence d'un passage à niveau pendant la nuit puisque le train qui passe crée un «effet d'obturateur» lorsque le conducteur voit le ruban entre les wagons, la lumière des phares réverbérant sur l'arrière du poteau. Les matières rétroréfléchissantes ne devraient pas être à un niveau trop élevé afin qu'elles renvoient bien la réflexion au conducteur. Une recherche a été faite au Canada sur l'utilisation de matières rétroréfléchissantes pour la signalisation (Hanafi, 1997a).

Les conducteurs doivent pouvoir déterminer si les dispositifs de protection d'un passage à niveau sont automatisés ou non afin de savoir dans quelle mesure il leur incombe de détecter l'approche de trains. L'un des avantages de la signalisation non automatisée est qu'elle exige plus de temps pour constater l'absence plutôt que la présence d'un train. Environ 20 % des conducteurs croient que tous les passages à niveau sont automatisés (Richards et Heathington, 1986), de sorte que pour eux l'absence de signal indique qu'il n'y a pas de train.

Les conducteurs ne comprennent pas toujours la signification des dispositifs d'avertissement. À titre d'exemple, dans la plupart des utilisations qui en sont faites pour la circulation, le feu rouge clignotant indique qu'on doit immobiliser son véhicule puis se remettre en marche prudemment. Certains conducteurs perçoivent les feux clignotants comme un avertissement exigeant seulement qu'ils ralentissent et non nécessairement qu'ils s'immobilisent. Une telle interprétation de signaux clignotants à un passage à niveau pourrait entraîner un accident.

L'emploi de panneaux indicateurs d'arrêt à des passages à niveau non automatisés a fait l'objet de longs débats (Mortimer, 1988; NTSB, 1998a). Soixante pour cent des conducteurs s'arrêtent à un panneau d'arrêt de passage à niveau non automatisé, alors que 80 % s'arrêtent à des intersections de routes. (Parsonson et Rinalducci, 1982). Un projet de recherche visant à déterminer de quelle façon se comportent les conducteurs de camion aux passages à niveau est en cours à Transports Canada et on y examine la possibilité d'adopter une réglementation à ce sujet. L'accélération à partir d'un arrêt complet des camions et des autobus (ou autocars) qui doivent franchir plus d'une voie ferrée est également un problème connu (Kendall et Morrisette, 1995, May; Mortimer, 1988). Le NTSB en est arrivé à la conclusion qu'il faudrait installer un panneau indicateur d'arrêt aux passages à niveau (NTSB, 1998a). On s'attend à ce que l'installation de tels panneaux élève le niveau de sécurité général aux passages à niveau non automatisés.

5.2 Contre-mesures aux passages à niveau automatisés

On utilise beaucoup les dispositifs de contrôle de la circulation (certains sont utilisés à pratiquement tous les passages à niveau) pour avertir de la présence de voies ferrées et dans certains cas de la présence de trains également.

Les recommandations visant à renforcer la sécurité aux passages à niveau sont les suivantes :

- fournir des indications sur la vitesse à laquelle rouler;
- installer des projecteurs actionnés par un train qui approche pour éclairer le passage à niveau de façon à accroître sa visibilité et avertir les conducteurs;
- installer dans les véhicules des systèmes qui avertissent le conducteur de l'approche d'un train;
- installer aux passages à niveau un klaxon actionné par le train qui approche.

Certaines de ces solutions ont été évaluées.

De 1960 à 1970, en Californie, on a comparé les données sur les accidents survenus à 1 552 passages à niveau avant et après l'installation de dispositifs automatiques d'avertissement (Schulte, 1975). Les dispositifs d'avertissement installés était soit des feux clignotants (434 passages à niveau), soit des barrières automatiques (1 118 passages à niveau). Pour l'ensemble de la période de 10 ans, il y a eu, pour les deux genres de dispositifs d'avertissement, une diminution par passage à niveau-année de 69 % des accidents mettant en cause un véhicule et un train, de 86 % du nombre de décès et de 80 % du nombre de blessés. Pour les passages à niveau munis de barrières, il y a eu une diminution 70 % des accidents mettant en cause un véhicule et un train, de 89 % du nombre de décès et de 83 % du nombre de blessés. Les taux d'accidents étaient plus bas aux passages à niveau ruraux qu'aux passages à niveau urbains, mais que ce soit pour les taux d'accidents, le nombre de décès ou le nombre de blessés, la diminution a été plus forte aux passages à niveau situés en milieu rural. Ces chiffres ne tiennent pas compte de l'intensité de la circulation (ni pour les véhicules ni pour les trains) et doivent être interprétés avec précaution.

Schulte (1975) fait valoir qu'il est important de ne pas s'en tenir uniquement à la fréquence des accidents pour établir les avantages économiques de l'installation de systèmes d'avertissement automatiques et de tenir compte également de la gravité des accidents. Il s'est penché sur l'incidence des infractions aux règlements de la circulation commises par les conducteurs qui passent outre aux feux clignotants et aux barrières. En 1973, il y a eu 2 197 accidents dans lesquels un véhicule est entré dans une barrière ou a été heurté par une barrière qui s'abaissait. Ce type d'accidents peut indiquer qu'il y a eu inattention ou distraction de la part du conducteur au passage à niveau, mais il est aussi possible que certains conducteurs comprennent mal de quelle façon il faut s'approcher d'un passage à niveau muni de barrières. Cet article fournit une bonne information de base sur l'efficacité des dispositifs d'avertissement automatisés aux passages à niveau. Il traite aussi du coût de l'installation de barrières et propose qu'on retienne la solution de l'installation de feux clignotants et de barrières pour les passages à niveau où la circulation est intense et le risque d'accidents élevé, ceux pour lesquels le rapport coût-avantages est le meilleur.

Noyce et Fambro (1998) ont tenté de mesurer l'effet d'un feu stroboscopique actionné par les véhicules pour diriger l'attention des conducteurs vers des dispositifs de signalisation non automatisés, tels que les croix d'avertissement et la SAPN. Les auteurs ont en outre cherché à savoir si le signal supplémentaire amenait les conducteurs à réagir de manière plus prudente à la présence d'un passage à niveau. Le feu stroboscopique a été placé au-dessus d'un panneau indicateur rehaussé – un panneau de signalisation avancée sous lequel était installé un panneau affichant «Attention au train au passage à niveau» - situé à 17 m du passage à niveau. Il y avait également une croix d'avertissement tout juste avant le passage à niveau. Un détecteur placé à 170 m de la SAPN actionnait le feu stroboscopique et le maintenait sous tension pendant environ 8 secondes.

Une étude avant-après sur la vitesse a montré que la vitesse des véhicules allant en direction ouest était plus faible après l'installation du feu qu'elle ne l'était avant, particulièrement à proximité du panneau de signalisation et au moment où les conducteurs entraient dans la zone de non-récupération (distance de visibilité d'arrêt) à environ 100 m du passage à niveau (Noyce et Fambro, 1998). Les vitesses moyennes pour l'approche en direction est n'ont pas changé de manière significative dans la première partie de la zone de non-récupération à environ 100 m. Les vitesses moyennes aux approches de la voie ferrée ont été inférieures après l'installation du feu; cependant, bien qu'on ait observé certains différences statistiquement significatives, les différences réelles de vitesse ont été faibles, soit de 2 à 3 km/h après l'installation du feu.

Une enquête a été effectuée auprès des conducteurs pour savoir s'ils portaient attention au feu stroboscopique (Noyce et Fambro, 1998). Quatre-vingt-deux pour cent des conducteurs auprès desquels a été menée l'enquête (N = 33; 23 hommes, 10 femmes) ont dit qu'ils et qu'elles utilisaient fréquemment le passage à niveau. Cinquante-deux pour cent des conducteurs ou conductrices ont dit avoir remarqué qu'il y avait quelque chose de particulier ou de différent au passage à niveau, ce qui est un taux plus élevé que celui observé dans des études précédentes dans lesquelles seulement 20 % des conducteurs environ avaient pu se souvenir de la présence d'une signalisation standard pour les chemins de fer. Des 17 conducteurs ayant remarqué quelque chose de particulier ou de différent, 15 avaient vu le feu stroboscopique et 12 le panneau indicateur supplémentaire. Sur l'ensemble des 33 conducteurs, 21 avaient noté la présence du feu

stroboscopique. Dix-neuf conducteurs ont dit avoir fait preuve de plus de prudence qu'à l'habitude, c'est-à-dire avoir ralenti, lu les panneaux indicateurs, regardé si un train approchait ou immobilisé leur véhicule au passage à niveau après avoir vu le feu stroboscopique. Les 14 autres conducteurs n'ont pas modifié leur comportement, la plupart d'entre eux disant ne pas avoir vu le feu stroboscopique. Huit répondants ont dit avoir pensé que le feu signifiait qu'il fallait être plus prudent au passage à niveau; trois ont dit avoir pensé que cela indiquait qu'il valait mieux réduire la vitesse et huit ont cru que le feu stroboscopique signifiait qu'il fallait prêter attention, être prudent, lire les panneaux indicateurs ou regarder si un train venait. Aucun des conducteurs n'a dit avoir pensé que le feu indiquait qu'un train approchait. Il faut cependant noter que la taille de l'échantillon retenu pour l'enquête était faible et que les résultats ne seraient pas nécessairement les mêmes avec un plus grand groupe.

Dix-huit conducteurs ont vu le panneau indicateur supplémentaire et parmi eux 11 se rappelaient très exactement de ce qui y était inscrit ou d'une inscription qui s'en rapprochait beaucoup. Une étude par observation du comportement des conducteurs a révélé que ces derniers n'ont pas réagi de manière défavorable au fonctionnement du feu stroboscopique. Le freinage à proximité du panneau indicateur et du feu est le seul changement qui a été observé dans le comportement des conducteurs.

Le feu stroboscopique semble avoir eu l'effet souhaité, soit d'amener un plus grand nombre de conducteurs à lire les panneaux de signalisation et à faire montre de prudence au passage à niveau non automatisé. L'étude signale en outre que c'est pendant la nuit que le feu stroboscopique était le plus visible, comparativement au jour ou à la brunante. De futures recherches pourraient montrer que le feu stroboscopique est une contre-mesure qui se révèle efficace la nuit surtout et que pour ce type de passage à niveau on devrait examiner la possibilité de recourir à d'autres dispositifs d'avertissement pour les heures de clarté. Il faudrait aussi se pencher sur la question de la durée de l'efficacité du feu stroboscopique. Les conducteurs qui utilisent fréquemment un passage à niveau pourraient en arriver à ne plus prêter attention au feu. L'effet de sa nouveauté pourrait s'estomper.

Heathington et coll. (1984) ont effectué une étude sur le terrain de six systèmes distincts d'avertissement pour les passages à niveau :

Système à quatre demi-barrières sans jupes (A).
Système à quatre demi-barrières munies de jupes (B).

Système à feux clignotants aux quatre quadrants sans feu stroboscopique suspendu au-dessus de la route (A).
Système à feux clignotants aux quatre quadrants avec feu stroboscopique suspendu au-dessus de la route (B).

Système de feux de circulation routière avec un seul feu stroboscopique à barre blanche (A).
Système de feux de circulation routière avec trois feux stroboscopiques à barre blanche (B).

Ces systèmes ont été soumis à des essais visant à établir, pour chacun des groupes de systèmes, si les participants préféraient la variante A ou la variante B et s'ils préféraient un groupe par rapport aux deux autres. En outre, pour chacun des groupes des essais ont été effectués avec des distances différentes de déclenchement des signaux (nulle = 0 pi, longue = 670 pi, moyenne = 440 pi, et courte = 330 pi) et tous les systèmes ont été soumis à essais de jour et de nuit.

Les participants ont jugé que les systèmes étaient tous meilleurs que les dispositifs d'avertissement standard utilisés aux passages à niveau. Le dispositif d'avertissement standard avec lequel il y avait comparaison n'était pas décrit. Tant pour le jour que pour la nuit, ce sont les quatre demi-barrières avec jupes qui ont été perçues comme le dispositif d'avertissement le plus efficace, les quatre demi-barrières sans jupes venant au deuxième rang, les feux clignotants aux quatre quadrants avec feux stroboscopiques suspendus au-dessus de la route au troisième rang, les systèmes de feux de circulation routière avec trois feux stroboscopiques à barre blanche au quatrième rang et les systèmes de feux de circulation routière avec un feu stroboscopique à barre blanche au cinquième rang. Ce sont les feux clignotants aux quatre quadrants, sans feu stroboscopique, qui ont été perçus comme le moins efficace des dispositifs de signalisation.

Les auteurs ont également analysé le temps de réponse pour le freinage et le taux maximum de décélération afin d'avoir un portrait plus élaboré des réactions des participants aux différents dispositifs. Ils n'ont pas observé de différences significatives entre les systèmes à barrières et les systèmes à feux clignotants quant à ces réactions, mais à la distance 440 pi une différence a été notée entre ces deux systèmes et les systèmes de feux de circulation routière. À la distance moyenne de déclenchement des signaux, les réactions aux deux systèmes à barrières ont été plus rapides que les réactions aux quatre autres systèmes, mais aucune différence dans les temps de réaction n'a été remarquée entre les deux systèmes à barrières (avec et sans jupes). Les réactions au système à barrières avec jupes ont été dans tous les cas les plus rapides par rapport aux autres systèmes. À toutes les distances de déclenchement des signaux, ce sont les deux types de systèmes de feux de circulation routière qui ont donné au total les temps de réaction les plus lents.

L'étude de Heathington et coll. (1984) est plus ancienne et les systèmes à quatre barrières coûtent encore trop cher pour que leur utilisation se soit généralisée. Toutefois, comme le font valoir Moon et Coleman (1999), ce dispositif pourrait être très efficace pour les passages à niveau où la circulation est très intense. Les résultats de l'étude de ces auteurs sur le ralentissement tendent à montrer qu'il faudrait prolonger les temps d'actionnement pour les systèmes à quatre demi-barrières. Pour les passages à niveau automatisés munis de feux, un feu de circulation aux quatre quadrants serait peut-être plus efficace que le système à deux quadrants utilisé à certains endroits; le coût demeure cependant un enjeu. La constatation du fait que les gens préfèrent le système dans lequel un feu stroboscopique est ajouté aux feux clignotants milite en faveur de l'utilisation d'un tel feu destiné à attirer davantage l'attention à la signalisation (tant automatisée que non automatisée). Enfin, ce rapport de recherche ne propose aucun changement aux passages à niveau non automatisés puisque les coûts imposent encore des limites à l'utilisation de feux et de barrières.

Les résultats des études dans lesquels on a constaté que les conducteurs ralentissent de manière significative à l'approche d'un passage à niveau laissent croire que la conception des signaux et des barrières n'est peut-être pas adéquate par rapport au comportement réel des conducteurs. Moon et Coleman (1999) font valoir que les voitures insérées dans des groupes qui ralentissent à

un passage à niveau muni de quatre demi-barrières dont l'actionnement est basé sur la limite de vitesse peuvent rester piégées sur le passage à niveau parce que le moment fixé pour cet actionnement ne concorde pas avec le comportement réel des conducteurs. Ils recommandent, pour tous les passages à niveau à quatre demi-barrières sur lesquels leur enquête a porté, qu'on allonge d'environ deux secondes le temps pendant lequel les barrières sont abaissées pour éviter que des voitures demeurent coincées sur les voies ferrées.

Le moment de l'actionnement des barrières est une question d'importance majeure. Les longs temps d'attente incitent les conducteurs à commettre des infractions. À titre d'exemple, si un train de voyageurs roule à 70 mi/h (113 km/h), il donne un délai d'avertissement de 30 secondes, tandis qu'un train de marchandises lent roulant à 35 mi/h (56 km/h) donne un délai d'avertissement d'une minute. Dans le cas d'un embouteillage, le risque que des voitures restent coincées entre les barrières est un autre sujet de préoccupation. L'installation d'un système de détection des obstacles permettrait de lever les barrières si un véhicule reste piégé sur la voie ferrée. C'est en gardant ces contraintes à l'esprit qu'on a mis en place le «système de la rue de l'école» à Groton (West Mystic), au Connecticut (Hellman et Carroll, 2002). C'est un système à quatre demi-barrières avec dispositif de détection des obstacles. Les délais d'avertissement sont de 65 ou 79 secondes, selon la direction dans laquelle roule le train. Le débit journalier moyen (DJM), calculé sur une base annuelle, est de 900 véhicules. Il y a quotidiennement de 15 à 20 mouvements de trains.

Hellman et Carroll (2002) ont fait une évaluation avant-après de la situation à un passage à niveau qui était initialement muni de deux barrières et où on a installé un nouveau système à quatre demi-barrières. Les données de référence pour le système à deux barrières ont été collectées de juillet 1997 à août 1998 à l'aide d'un système de surveillance vidéo, tandis que le système à quatre demi-barrières a été observé de janvier 1999 à octobre 2000. Des problèmes de construction pendant la période de référence ont entraîné une diminution importante de la taille de l'échantillon. Les principales variables dépendantes étaient les infractions de type I et de type II. Une infraction de type I consistait, pour un conducteur, à franchir la voie ferrée entre le moment où les feux d'avertissement s'allumaient et le moment où les barrières étaient

entièrement abaissées. Une infraction était de type II lorsqu'un conducteur contournait les barrières ou passait entre les barrières.

Le nombre d'infractions de chacun des types a été calculé en fonction du nombre d'accidents par 100 mouvements de train. L'installation du système à quatre demi-barrières a eu pour effet de réduire le nombre d'infractions de type I et de type II. Non seulement il y a eu réduction du nombre total d'infractions des deux types, mais le nombre d'infractions de type II (consistant à contourner les barrières) a été ramené à 0 au cours de la période d'observation. L'analyse par saison semble montrer qu'il y a eu moins d'infractions pendant la période de débit maximal de la circulation (c'est-à-dire en été). Les longues files de véhicules peuvent contribuer à réduire le nombre d'infractions. C'est au cours des mois pendant lesquels le débit est plus faible et les files de voitures moins longues (c'est-à-dire en automne et en hiver) que les taux d'infractions ont été les plus élevés. La fiabilité du système à quatre demi-barrières est importante puisque des véhicules peuvent rester coincés sur les voies ferrées s'il y a défaillance du système. Le système à quatre demi-barrières a bien fonctionné et peu de modifications ont été nécessaires après son installation.

Dans ce qui constituait une phase d'un vaste programme comportant quatre phases, Carroll et Haines (2002a) ont dressé un portrait de l'efficacité d'une série de contre-mesures apportées le long du «sealed corridor» (couloir ferroviaire fermé) de la Caroline du Nord. Des modifications ont été effectuées à cinquante-deux passages à niveau : certains ont été fermés, d'autres ont été transformés en passages superposés (au moyen de la construction d'un pont ou d'un viaduc), tandis qu'à d'autres endroits on a installé un système de surveillance vidéo (établissement numérique de contraventions, p.ex.). À d'autres passages à niveau encore, on a installé quatre demi-barrières, des barrières à longue lisse ou des barrières centrales. Des panneaux de signalisation et des marques sur la chaussée ont été ajoutés dans tous les cas.

Les analyses préliminaires des risques, qui comparent le nombre de décès survenus au cours d'une période de cinq ans, selon les données de la Federal Railroad Administration (FRA), avec ceux observés depuis la mise en place de ces mesures montrent que le nombre de vie pouvant ainsi être sauvées est d'environ cinq. Avant les modifications, 14 accidents survenus aux

52 passages à niveau avaient fait 19 morts. Tous les accidents, à l'exception d'un seul, se sont produits au moment où un conducteur contournait les barrières ou passait entre les barrières. Le coût économique des mesures correctives pour les «vies épargnées» a donné un rapport de 40 à 1 (c'est-à-dire de 15 614 100 $ à 400 000 $, respectivement). On trouvera au tableau 5.1 les données sur l'efficacité et le coût des diverses contre-mesures.

5.3 Contre-mesures à bord des trains

Ces contre-mesures comprennent divers dispositifs installés sur les trains, dont notamment des phares oscillants, des phares stroboscopiques et des réflecteurs. L'intensité des phares standard, qui sont situés à environ 4,5 m au-dessus des rails, varie de 200 000 à 250 000 candelas et l'angle d'éclairage est d'environ 10 degrés sur les plans horizontal et vertical. Le centre du faisceau touche la voie à environ 242 m. Carroll et al. (1995) ont analysé l'efficacité de systèmes d'éclairage auxiliaires utilisés pour prévenir les conducteurs de l'arrivée d'un train. Tous les phares analysés dans le cadre de cette étude sont en usage dans le secteur ferroviaire. À l'exception de deux types de phares stroboscopiques, tous les phares en usage excédaient les normes d'intensité du règlement provisoire de la FRA de 1993 et 1994. Le phare standard du train utilisé seul constituait l'élément de contrôle. L'utilisation du phare seul a été analysée par rapport à son utilisation combinée à celle de phares de fossé pointés à 15 degrés, de phares de passage situés sur la ligne centrale du train, ou de phares stroboscopiques montés sur le dessus du train. Les systèmes d'éclairage ont été comparés en fonction de leur efficacité relative, c'est-à-dire que le phare observé à la plus grande distance dans l'étude peut aussi être observé à la plus grande distance dans des conditions de conduite réelles. Cependant, dans des conditions de conduite réelles, il pourrait ne pas être observé aussi loin du passage à niveau qu'il l'était dans l'étude car les participants à l'étude s'attendaient à voir un train alors que ce n'est pas forcément le cas du conducteur moyen. Dans des conditions réelles, l'appréciation des distances pourrait être réduite de 50 %.

Les trois variables indépendantes étaient les suivantes : la direction de l'approche de la locomotive, la lumière ambiante et le type de système d'alerte. La lumière ambiante était une variable «inter-sujet», alors que le système d'alerte et la direction de la locomotive étaient des

variables «intra-sujets». La vitesse du train était maintenue constante à 45 km/h. Les deux trains étaient peints de façon différente afin de déterminer si le motif de la peinture ou les phares avaient un effet dans la détection en plein jour.

L'angle du passage à niveau étudié par rapport à la route était de 90 degrés, et la vue à partir du point d'observation d'un côté n'était obstruée ni à gauche, ni à droite. L'angle de 90 degrés et la bonne visibilité des deux côtés peut limiter l'application de ces données dans les cas de passages dont les angles sont différents. Les participants étaient assis à 62,5 m du passage à niveau. On leur a demandé de se soumettre à un exercice visuel dans lequel ils devaient observer des flèches affichées sur un écran situé à 2 m devant eux. Ils devaient réagir à l'affichage d'une flèche vers le haut ou vers le bas en appuyant sur la touche correspondante sur un clavier. L'objet de l'exercice visuel était de concentrer son attention vers l'avant et de simuler les conditions réelles de l'attention requise pendant la conduite d'un véhicule. Les participants étaient invités à ne pas regarder à gauche ou à droite et à indiquer le moment où le train entrait dans leur champ de vision périphérique et la direction d'où il arrivait. Ils devaient ensuite estimer le moment de son arrivée à des points particuliers le long de la voie. Les participants portaient un casque d'écoute afin d'éliminer les sons qui pouvaient leur indiquer la direction du train. Comme les observateurs étaient stationnaires, on peut conclure que la détectabilité et l'estimation du temps d'arrivée pourraient être différentes dans le cas de conducteurs qui arrivent à une intersection dans leur véhicule. Les chercheurs reconnaissent que de nombreux conducteurs qui arrivent à un passage à niveau ne s'attendent par toujours à voir un train et que par conséquent, les distances de détectabilité seraient moins grandes que celles constatées dans l'étude.

Un important effet a été constaté en ce qui touche la direction des locomotives, effet par ailleurs inattendu car il était prévu que les trains arrivant des deux côtés ne pourraient pas être distingués l'un de l'autre. Une analyse ultérieure a révélé que les phares de la locomotive de gauche étaient alimentés par une batterie en raison d'une défaillance de la génératrice. Par conséquent, le voltage était inférieur aux 74 volts requis pour alimenter les phares, ce qui signifie que l'intensité des phares de la locomotive de gauche était plus faible que celle de la locomotive de droite. Les données sur la locomotive de gauche ont donc été exclues du reste de l'étude, et seuls les résultats de la détectabilité de la locomotive de droite ont été analysés.

Les observateurs ont détecté les trains à une plus grande distance du passage la nuit. La distance moyenne de détection était de 468 m la nuit et de 364 m le jour. Dans des conditions de jour et de nuit, c'est la combinaison phare standard et phare de passage qui a été observée à la plus grande distance du passage, suivie de la combinaison phare standard et phare de fossé, ensuite de la combinaison phare standard et phare stroboscopique et enfin du phare standard seul. Le système de phare de passage était sensiblement différent du phare de fossé, du phare stroboscopique et du phare standard seul. Le système de phare de fossé était différent du phare standard seul mais pas du phare stroboscopique. La différence entre le phare stroboscopique et le phare standard seul était peu significative. Les observateurs ont également signalé que les phares étaient ce qu'ils ont vu en premier tant le jour que la nuit.

Les observateurs ont surestimé la distance entre le train et le passage à niveau dans le cas de tous les systèmes d'alerte. Cependant, ils avaient tendance à sous-estimer le moment de l'arrivée dans l'intervalle de 7 secondes. L'exactitude du moment de l'arrivée a été mesurée en fonction d'une précision du jugement de 100 %. La surestimation de la distance était la moins importante dans le cas des phares de fossé (101,5 %) suivi des phares de passage (104,7 %), des phares stroboscopiques (108,1 %) et du phare standard seul (117,9 %). Cependant, les différences n'étaient significatives qu'entre les phares de fossé et les phares stroboscopiques et entre les phares de fossé et le phare standard seul. Dans tous les cas, plus l'intervalle du moment estimé de l'arrivée était grand (de 7 à 22 secondes), plus il y avait surestimation. L'estimation du moment de l'arrivée était de 89,2 % dans l'intervalle de 7 secondes, de 108,2 % dans l'intervalle de 12 secondes, de 114,9 % dans l'intervalle de 17 secondes et de 120,4 % dans l'intervalle de 22 secondes. C'est le système de phares de passage qui a affiché le moins d'erreurs d'estimation dans tous les intervalles. La surestimation dans les intervalles de 12, 17 et 22 secondes signifie donc que les conducteurs courent des risques s'ils décident de franchir la voie ferrée. Par ailleurs, la surestimation dans le cas des plus grandes distances peut être attribuée à la difficulté de percevoir les changements de vélocité lorsqu'un véhicule approche de face.

Aucune différence n'a été notée entre le jour et la nuit pour ce qui est de l'estimation du moment de l'arrivée. Selon les chercheurs, ce sont les systèmes d'éclairage qui permettent de détecter les trains plutôt que d'autres caractéristiques, comme le motif de la peinture. Les observateurs ont

affirmé que ce sont d'abord les systèmes d'éclairage qui leur ont permis de détecter le train, et ce, tant de jour que de nuit, mais les éléments qui ont servi aux observateurs pour estimer le moment de l'arrivée de jour et de nuit demeurent inconnus. Le jour, les conducteurs pouvaient estimer le moment de l'arrivée du train d'après son déplacement par rapport au paysage et son système d'éclairage. La nuit, les conducteurs ne pouvaient voir que les phares du train, ce qui rendait l'estimation plus difficile puisqu'ils n'avaient qu'un seul point de repère. L'absence de différence entre le jour et la nuit demeure cependant inexpliquée. La petite taille de l'échantillon (9 observateurs de jour et 14 de nuit) dans l'analyse inter-sujets peut constituer une faiblesse sur le plan statistique. Certains observateurs ont par ailleurs noté que les phares de fossé les ont quelque peu aveuglés lors du passage de la locomotive.

Afin de déterminer si les divers systèmes ont vraiment permis de réduire le nombre d'accidents aux passages à niveau, les chercheurs ont comparé les taux d'accidents avant et après l'installation de systèmes d'éclairage sur les trains. Quatre compagnies de chemin de fer ont accepté de fournir des données sur les accidents, mais les données disponibles étaient limitées, et aucune conclusion valable concernant l'efficacité des systèmes dans la réduction des accidents n'a pu être tirée de cette étude. Cependant, les données initiales montrent que les systèmes auxiliaires d'éclairage peuvent réduire le nombre d'accidents aux passages à niveau. En outre, le coût et l'entretien de tels systèmes semblaient acceptables pour la plupart des compagnies de chemin de fer.

L'étude de Carroll et al. (1995) résume diverses constatations concernant les systèmes auxiliaires d'éclairage en usage dans divers pays, dont le Royaume Uni, le Canada et l'Australie. Les phares de fossé canadiens sont différents des phares de fossé ou des phares de passage des États-Unis en ce que les phares de fossé canadiens se croisent en fait à 45,8 m à l'horizontale et atteignent la voie opposée à 92 m. Les phares de fossé et les phares de passage des États-Unis ne se croisent pas à l'horizontale. L'Australie utilise également un système croisé, et Dunn, Hewison, et al. (1992, cité dans Carroll et al., 1995) signalent que les phares croisés étaient plus faciles à détecter et n'aveuglaient pas l'observateur à diverses distances et inclinaisons. Comme le système canadien est différent de celui des États-Unis, il est difficile de transposer les résultats de cette étude aux trains canadiens. Cependant, puisque l'étude a montré que des systèmes

d'alerte auxiliaires similaires jumelés au phare standard étaient mieux détectés que le phare standard seul, on pourrait en déduire que le système canadien est probablement plus efficace que le système à phare standard seul. La norme canadienne a été mise en vigueur après le déraillement de 1974 où un train a foncé la nuit dans un éboulement sur la voie.

À l'aide d'un simulateur de conduite basse fidélité, Multer et al. (2001) ont analysé la capacité des conducteurs de distinguer les wagons de marchandises réflectorisés des wagons de marchandises non réflectorisés la nuit à un passage à niveau lorsque la voiture et le train sont tous deux en mouvement. Ils ont également analysé la capacité des conducteurs de distinguer les wagons réflectorisés d'autres objets, par exemple des camions ou des voitures à une intersection. Au Canada, les wagons de marchandises de moins de 15 m doivent être munis de quatre réflecteurs par côté, et six s'ils font plus de 15 m. Le ruban, s'il est propre, est susceptible d'accroître la perceptibilité des trains lorsque la visibilité est réduite, par exemple la nuit.

Un exercice de détection de signaux a été réalisé lors de la première expérience afin de déterminer dans quelle mesure les conducteurs pouvaient distinguer les trains des camions en fonction de leurs motifs réflectifs. Les gros camions aux États-Unis doivent être munis de réflecteurs, et l'un des objectifs de cette recherche consistait à déterminer si les automobilistes confondaient les motifs utilisés sur les camions avec ceux utilisés sur les trains. Quatre motifs (barres horizontales, barres verticales, formation concentrée et barres verticales variables) ont été mis à l'essai sur deux types de wagon, soit un wagon-trémie et un wagon plat. Les quatre motifs pour camion (tous horizontaux et comportant différents nombres de bandes réfléchissantes) autorisés par le US Department of Transportation ont été mis à l'essai sur un camion. Des essais ont également été réalisés sur des wagons et des camions non réflectorisés et dans des conditions d'absence de signal. Les participants ont observé 1 200 essais (la moitié en milieu rural et l'autre moitié en milieu urbain) à une intersection de 90 degrés où un train ou un camion pouvait traverser et devaient dire s'ils avaient vu un train, un camion ou rien du tout.

Aucune différence significative n'a été observée dans la distinction entre les trains et les camions en fonction du motif réflectorisé utilisé. Les participants ont trouvé plus difficile de détecter les wagons non réflectorisés en milieu rural (exactitude de 85 %) qu'en milieu urbain (exactitude de

92 %). D'après les auto-évaluations faites par les participants eux-mêmes, il a été constaté qu'en milieu urbain, certains de ceux-ci hésitaient à dire s'ils voyaient ou non un train.

La deuxième expérience avait pour objet de mesurer la distance de reconnaissance de chaque type de motif sur des wagons de marchandises et de calculer les erreurs (par exemple, la personne a vu un train mais a indiqué un camion). Les wagons de marchandises réflectorisés ont été identifiés à une plus grande distance que les wagons non réflectorisés. Le grand wagon-trémie a également été identifié à une plus grande distance que le wagon plat (1 026 pi vs 947 pi). Le motif à barres verticales a été le mieux reconnu autant pour le wagon-trémie que pour le wagon plat. Le motif à barres horizontales et le motif concentré étaient davantage susceptibles d'être confondus avec un camion que les motifs verticaux variables ou les barres verticales. C'est le motif à barres verticales qui a produit le moins d'erreurs.

Bien que cette étude reprennent certaines des constatations de précédentes études, par exemple la réflectorisation augmente la distance à laquelle les conducteurs peuvent voir un wagon de marchandises, elle n'en présente pas moins des limites attribuables à la méthodologie utilisée. Un simulateur de conduite basse fidélité a été utilisé pour reproduire les conditions de conduite la nuit, mais aucune référence à la luminosité ou à l'intensité du motif qui pourrait être constatée dans des conditions réelles ou simulées n'est faite dans l'étude. La luminosité et l'intensité d'objets projetés sur un écran peuvent varier grandement et ne représentent pas fidèlement les conditions réelles d'éclairage à un passage à niveau. L'étude ne comprend pas de calcul visant à déterminer la quantité de lumière ambiante au passage à niveau (phares ou éclairage du secteur), et ce, même si l'utilisation d'un milieu urbain ou rural a été indiquée. Cependant, l'étude comprend certaines suggestions quant au choix d'un motif standard pour les wagons : le motif doit être distinct de celui utilisé sur les camions, ce qui devrait être évident. La capacité d'un simulateur de conduite basse fidélité de reproduire des conditions d'éclairage suffisantes est très douteuse. L'impact de cette limite sur la distance de détection et la précision ne doit pas être négligé.

5.4 Systèmes de transports intelligents

Richards et Bartoskewitz (1995) ont décrit les applications possibles de nouvelles technologies destinées à mieux prévenir les automobilistes de l'approche ou de la présence d'un train à un passage à niveau. L'intégration des mesures de sécurité sur les routes et les voies ferrées a posé problème dans le passé en raison du manque de communication entre les autorités routières et ferroviaires (aucune des autorités ne fournissait des renseignements adéquats sur le débit de la circulation). L'architecture des systèmes de transports intelligents (STI) et le Système d'automatisation de la marche des trains (SAMT) peuvent être utilisés pour améliorer la communication entre les systèmes routiers et ferroviaires. Par exemple, des systèmes avancés de sécurité automobile, qui servent notamment à la prévention de collisions longitudinales, à la prévention de collisions latérales, à la prévention de collisions aux intersections et à l'amélioration de la vision pour la prévention des accidents, peuvent être intégrés afin d'utiliser les données du SAMT pour prédire l'emplacement des trains et le communiquer aux conducteurs (bien que les conducteurs risquent d'utiliser cette information pour tenter de battre le train de vitesse).

Le SAMT est un système de communication transpondeur à microprocesseur conçu pour assurer les fonctions de sécurité et d'exploitation du rail. Il s'inscrit dans le cadre d'un programme mixte de l'Association of American Railroads et de l'Association des chemins de fer du Canada. Ses avantages sur le plan de la sécurité comprennent notamment le respect des limites de vitesse autorisées, la transmission aux trains des mouvements de trains sur les voies et des confirmations des équipes par le biais de systèmes de communication numérisés, et la protection des cantonniers et autres employés sur les voies ferrées.

Certaines suggestions pour intégrer les STI et le SAMT impliquent l'utilisation de systèmes de positionnement global (GPS) dans l'architecture du système afin de prévenir les conducteurs de la proximité d'un train près du passage à niveau par le biais d'un système d'avertissement à bord du véhicule. Les klaxons automatisés, qui émettent un signal sonore d'une intensité constante, et l'amélioration de l'éclairage aux passages à niveau afin d'accroître la visibilité des trains la nuit sont considérés comme des mesures peu coûteuses et dont la mise en place est peu complexe. Les détecteurs de proximité pour certains véhicules (autobus scolaires, gros camions,

transporteurs de marchandises dangereuses, véhicules d'urgence) utilisés aux passages à niveau automatisés et non automatisés pour indiquer la présence d'un train sont considérés comme des mesures à coût moyen et de complexité moyenne. Les dispositifs de détection d'intrusion (traitement d'images vidéo de véhicules en panne qui bloquent le passage) et les affichages dynamiques qui disent au conducteur à quoi s'attendre («train arrivant sur la gauche ou sur la droite» et «nombre de secondes avant l'arrivée») sont considérés comme des mesures à coût élevé et de grande complexité. Aucune des technologies abordées n'a été évaluée.

Chugh et Caird (1999) ont évalué la capacité d'une signalisation intégrée de passage à niveau (SIPN) en visualisation tête haute (HUD). Ils ont également évalué l'effet de la fiabilité du système sur le temps de réaction et la confiance du conducteur. Trente-six personnes de 18 à 26 ans ont accepté de prendre part à l'étude. En moyenne, les participants roulaient environ 15 000 km par année. Une SAPN modifiée a été projetée en visualisation tête haute superposée dans des films numérisés de conduite (voir la figure 5.1). Utilisant un simulateur de conduite basse fidélité, les participants réagissaient à un nombre limité d'événements à l'aide du volant, du frein et de l'accélérateur. Par exemple, le participant pouvait utiliser l'accélérateur et le frein pour atteindre trois vitesses qui reproduisaient un freinage brusque et lent et une accélération. Des films numérisés ont été projetés sur un écran à 3,5 m devant les participants. Huit approches de passage à niveau ont été filmées. Chaque passage a été filmé dans des conditions estivales et hivernales, ce qui a produit 16 films de deux minutes. Un bruit de sonnerie a été ajouté à la bande de son lorsqu'un conducteur approchait d'un passage. La SIPN était projetée pendant 2,5 secondes environ 10 secondes avant l'arrivée à chaque passage à niveau.

Afin de déterminer les effets de la fiabilité sur le comportement, un facteur de fiabilité de 50 % ou de 83 % a été attribué au hasard aux participants. Le type d'erreur intra-sujet a également été calculé. La SIPN a été projetée lorsqu'il n'y avait aucun passage à niveau (fausse alarme) et ne l'a pas été du tout avant un passage (signal manqué). Chaque participant a été soumis à 24 séquences vidéo. Chaque séquence consistait en une approche de passage à niveau dans un contexte de circulation urbaine et suburbaine. Les participants ont été informés que la SIPN leur indiquait l'arrivée probable d'un train. Tous les participants devaient conduire normalement et ralentir aux passages à niveau.

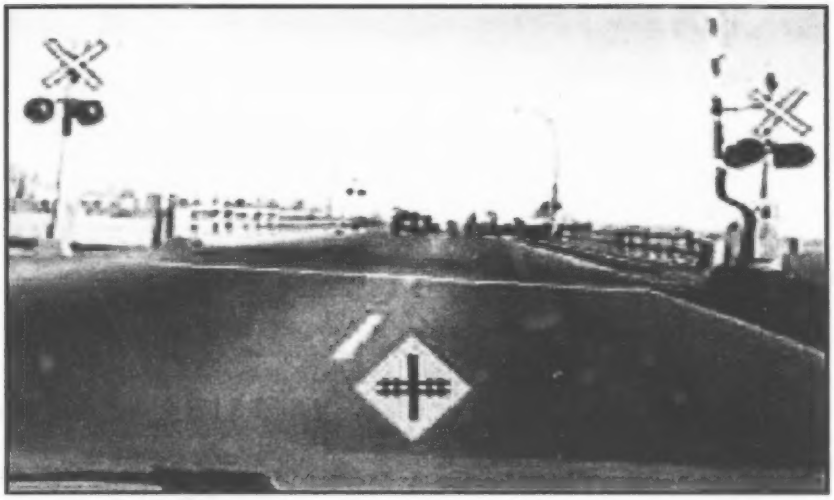

Figure 5.1 Visualisation tête haute d'une signalisation intégrée de passage à niveau utilisée dans Chugh et Caird (1999)

Le TPR (temps de perception-réaction) moyen à la SIPN était de 1,75 seconde, ce qui a été stable au cours des deux premiers blocs de base mesurés. Lorsque les conducteurs étaient avertis mais qu'aucun train ne se présentait au passage (fausse alarme), le TPR augmentait de façon significative. En outre, les participants soumis à une fausse alarme ont mis plus de temps que les autres à freiner à l'approche du passage à niveau. L'effet de fiabilité sur le TPR a été de l'accroître, et encore davantage lorsque la fiabilité de la signalisation était faible (50 %). Fait intéressant, lors des deux derniers principaux événements, 4,2 % des participants n'ont pas réagi à la SIPN après avoir eu des fausses alarmes. En outre, dans le groupe de fiabilité de 50 %, 6,9 % des participants n'ont pas réagi à la SIPN après avoir eu des fausses alarmes. Le degré de confiance a décru selon la fiabilité de la SIPN, et encore davantage dans le groupe de fiabilité de 50 %.

La SIPN peut constituer un moyen d'accroître la capacité de détection du conducteur et lui permettre de prendre de meilleures décisions à l'approche d'un passage à niveau. Aux passages à niveau où les lignes de visibilité limitée réduisent la probabilité de détection des passages à niveau, la SIPN peut constituer une façon de doubler la signalisation à l'approche d'un passage. La fiabilité et la façon dont les erreurs se produisent lorsqu'une SIPN est utilisée peuvent inciter les conducteurs à ignorer la technologie. Les participants avaient tendance à compenser les données non fiables de la SIPN en scrutant davantage les environs et en venaient à se méfier du système. L'utilisation de technologies intégrées pour aider le conducteur comporte de nombreux

avantages et désavantages sur le plan humain (voir Caird et al., 2000). Par exemple, la projection d'une SIPN de façon régulière peut créer un excès de confiance dans la technologie, et les conducteurs risquent de ne plus porter attention aux trains ou aux autres risques dans les environs. Des contraintes pratiques, dont notamment le coût de la mise en place et l'intégration uniforme de ces technologies, limitent actuellement les technologies des STI.

5.5 Résumé des contre-mesures

Un certain nombre de rapports fondamentaux résument bien l'état des efforts consacrés à de nombreuses contre-mesures (voir Carroll et Haines, 2002b; Lerner et al., 1990; NTSB, 1998a). L'échéancier et la portée du présent projet n'ont pas permis de réaliser un examen en profondeur de toutes les contre-mesures et de leur efficacité relative. L'utilité de la présente analyse consiste à intégrer la documentation et les rapports non encore analysés et à permettre de comparer les traitements. La prise de décisions concernant les ressources exige des données sur la rentabilité. En outre, les lacunes dans l'efficacité et l'évaluation des contre-mesures deviennent immédiatement apparentes. Les raisons, le moment, l'endroit et la façon de mettre en oeuvre les contre-mesures comportent des subtilités qui ne sauraient être réduites à de simples conclusions. Les méthodes d'évaluation des contre-mesures et les raisons qui justifient leur choix sont donc importantes.

Le tableau 5.1 présente, par ordre chronologique des contre-mesures, des données sur l'efficacité et les coûts de ces contre-mesures. La source de la documentation sur l'efficacité et le coût des contre-mesures est également citée. L'efficacité relative des contre-mesures varie selon les évaluations colligées et le traitement comparatif. Dans l'ensemble, la réduction des décès, des blessures et des accidents (pondérée en fonction des flux de véhicules et de trains) constitue une donnée idéale de mesure de l'efficacité. De nombreuses variables confusionnelles et des contraintes pratiques limitent la collecte et l'interprétation des données sur le terrain (voir Evans, 1985; Hauer et Persaud, 1986). Le coût par installation est exprimé uniquement en dollars américains. La conversion en dollars canadiens exigera la prise en compte des taux de change, de tarifs, de l'inflation et de la différence des coûts de main-d'œuvre.

Tableau 5.1 Type, efficacité, coût et sources des contre-mesures

Contre-mesure	Efficacité	Coût	Source(s)
Panneaux d'arrêt à des passages à niveau non automatisés	Inconnue	1 200 à 2 000 $	NTSB (1998a)
Éclairage du passage à niveau	Diminution de 52 % des accidents de nuit par rapport aux passages à niveau sans éclairage	Inconnu	Walker et Roberts (1975)
Feux clignotants	Diminution de 64 % des accidents par rapport aux croix d'avertissement seules; Diminution de 84 % des blessures par rapport aux croix d'avertissement; Diminution de 83 % des décès par rapport aux croix d'avertissement	20 000 à 30 000 $ en 1988	Schulte (1975) Morrissey (1980)
Feux et barrières (2) + Feux clignotants	Diminution de 88 % des accidents par rapport aux croix d'avertissement seules; Diminution de 93 % des blessures par rapport aux croix d'avertissement; Diminution de 100 % des décès par rapport aux croix d'avertissement; Diminution de 44 % des accidents par rapport aux feux clignotants seuls	150 000 $	NTSB (1998a) Schulte (1975) Morrissey (1980) Hauer et Persaud (1986)
Barrières centrales	Diminution de 80 % des infractions par rapport au système à deux barrières	10 000 $	Carroll et Haines (2002a)
Barrières allongées (3/4 de la largeur de la route)	Diminution de 67 à 84 % des infractions par rapport au système à deux barrières	Inconnu	Carroll et Haines (2002a)
Système à quatre demi-barrières	Diminution de 82 % des infractions par rapport au système à deux barrières	125 000 $ si des barrières standards sont déjà en place 250 000 $ pour un passage à niveau non automatisé	Carroll et Haines (2002a), Hellman et Carroll (2002)
Système à quatre demi-barrières avec barrières centrales	Diminution de 92 % des infractions par rapport au système à deux barrières	135 000 $	Carroll et Haines (2002a)
Barrières d'impasse	Diminution de 100 % des infractions, accidents, blessures et décès	15 000 $	Carroll et Haines (2002a) NTSB (1998a)
Cinémomètres	Diminution de 34 à 94 % des infractions	40 000 à 70 000 $ par installation	Carroll et Haines (2002b)
Systèmes évolués d'aide à la conduite et de sécurité des véhicules (ICSAWS)	Inconnue	5 000 à 10 000 $ par passage à niveau + 50 à 250 $ pour un récepteur	NTSB (1998a)

Remarques : La liste des contre-mesures est établie en fonction de la date approximative de leur introduction. L'efficacité d'une contre-mesure est exprimée en fonction de la diminution, en pourcentage, des accidents et autres infractions, par rapport aux dispositifs d'avertissement antérieurs. Les coûts sont exprimés en dollars US à partir de la source la plus récente.

L'utilisation de panneaux d'arrêt aux passages à niveau non automatisés est le premier élément d'une courte liste d'améliorations potentielles. Le NTSB (1998a) a recommandé l'utilisation de panneaux d'arrêt aux passages à niveau non automatisés à moins qu'un dossier d'ingénierie bien étoffé en déconseille l'installation. Un certain nombre de considérations suggèrent que si un panneau d'arrêt était utilisé, le nombre de collisions aux passages à niveau seraient réduit. La vitesse du train (trains de passagers à grande vitesse), la composition de la circulation (autobus, camions, transporteurs de marchandises dangereuses), les voies multiples, les angles d'approche obliques et les lignes de visibilité restreinte sont quelques-unes de ces considérations. Les facteurs à l'encontre de l'utilisation de panneaux d'arrêt comprennent notamment un DJM maximum de 400 en milieu rural et de 1 500 en milieu urbain, la circulation de véhicules lourds au passage à niveau et une forte pente ascendante menant à la voie ferrée. La distance des lignes de visibilité devrait-elle être augmentée de 10 secondes afin de permettre aux camions gros porteurs et aux autobus de franchir le passage à niveau de façon sécuritaire?

Les arguments du NTSB (1998a) en faveur de l'intégration de panneaux d'arrêt sont fondés sur la logique, sur une analyse en profondeur de 60 accidents survenus à un passage à niveau non automatisé, et sur les débats qui ont eu lieu dans le passé. Une étude définitive de l'efficacité des panneaux d'arrêt doit être effectuée. Les conducteurs ont tendance à ne pas réagir au panneau d'arrêt d'un passage à niveau de la même façon qu'ils respectent les panneaux de signalisation routière (c'est-à-dire qu'ils ne s'arrêtent pas). Selon les statistiques de la FRA (2001), le nombre d'accidents, de décès et d'incidents non mortels liés aux panneaux d'arrêt (par 100 passages à niveau et 100 000 DJM) est plus élevé que celui lié à tout autre type de signal. Le Canada ne devrait pas adopter la recommandation du NTSB avant que l'efficacité du panneau d'arrêt soit établie. Il serait prématuré, à notre avis, de recommander le moins efficace des dispositifs d'avertissement.

L'évaluation de l'efficacité et l'adoption de diverses autres SAPN devraient être envisagées (voir Lerner et al., 1990; NTSB, 1998a). Une recherche devrait notamment être réalisée sur la distinction entre les passages à niveau automatisés et non automatisés. Il est également suggéré d'évaluer l'efficacité de nouvelles SAPN au Canada. Les conducteurs seront-ils désorientés

jusqu'à ce qu'ils connaissent les nouvelles signalisations? Comprennent-ils les signalisations qui sont actuellement en usage?

Le choix des possibilités dans le cas des passages automatisés présente de nombreuses occasions d'amélioration de la sécurité aux passages à niveau canadiens. Les barrières d'impasse et les glissières centrales aux passages à niveau à barrières où les infractions sont problématiques sont des solutions attrayantes pour des raisons de coût et d'efficacité. Cependant, la politique de fermeture est à ne pas négliger (Carroll et Haines, 2002a). Une compilation des passages à niveau existants et des accidents à chaque passage, ainsi qu'un ensemble de critères d'ingénierie et de coûts applicables aux solutions proposées sont nécessaires. En dernière analyse, le résultat final de ce processus sera déterminé par le degré de sécurité que peuvent se permettre Transports Canada, les compagnies de chemin de fer et les gouvernements locaux.

6. ANALYSES QUANTITATIVES

6.1 Introduction et méthodes

L'objet des analyses quantitatives était de caractériser les accidents survenus aux passages à niveau canadiens au cours des 19 dernières années. Il existe un besoin de mieux comprendre les statistiques sur les accidents aux passages à niveau canadiens (Coghlan, 2000; Fournier et Turgeon, 2000). Un certain nombre de sources présentent des tabulations recoupées de nombreuses variables (voir, par exemple, FRA, 2001). L'approche adoptée ici consistait à décrire les accidents aux passages à niveau à partir de l'ensemble des données colligées et à déterminer si les problèmes connus existent aussi au Canada. En outre, les tendances à long terme ont été analysées afin d'en acquérir une compréhension de nature prédictive.

À partir notamment de la taxinomie décrite ci-haut, une longue liste de questions a été dressée en vue d'interroger la BDEF pour connaître la fréquence de certains cas (voir la section 4). L'examen de la documentation a également permis de sélectionner des questions tant quantitatives que qualitatives (voir la section 7). Les auteurs du présent rapport ont travaillé en collaboration avec les analystes du BST afin de déterminer dans quelle mesure les diverses questions pouvaient être réglées. La compréhension des champs de données de la BDEF a permis aux membres de l'équipe de peaufiner les questions et de poser un certain nombre de questions qui n'avaient pas été élaborées avant le début du travail d'équipe.

La BDEF du BST a été analysée en utilisant des méthode quantitatives et qualitatives. La BDEF comportait 7 819 incidents survenus entre le 1er janvier 1983 et le 31 décembre 2001 (19 années). Les analyses portaient d'abord sur l'accident dans son ensemble et ensuite sur des questions particulières. La référence à chaque accident provenait de multiples champs, dont notamment la date, le lieu, le type de passage à niveau (automatisé, non automatisé, près d'une ferme, privé), les décès, la vitesse du train, et ainsi de suite. Aucune analyse n'a été faite des accidents impliquant un piéton.

6.2 Analyse des accidents

La figure 6.1 montre tous les accidents recensés dans la BDEF de 1983 à 2001. La fréquence des accidents a nettement décliné. L'équation de régression reflète raisonnablement les données ($R^2 = 0,92$). Selon l'équation de régression, le nombre d'accidents a chuté de moitié environ tous les 17 ans. La raison du déclin des accidents année après année demeure cependant inconnue. Toute explication des réductions devrait être rejetée à moins qu'un lien définitif de causalité puisse être établi (voir Evans, 1991). Les réductions peuvent notamment être attribuables à la fermeture de voies ferrées, ce qui implique donc une réduction du nombre de passages à niveau. Par exemple, le nombre total de passages à niveau publics et privés aux États-Unis a été réduit de 9,3 % de 1990 à 1996 (FRA, 1998). La fermeture de passages à niveau constitue la façon la plus efficace de réduire l'interaction entre véhicules et trains, et donc de réduire le nombre de collisions. En utilisant cette même équation de régression, la fréquence des accidents futurs peut être calculée. En 2006, le nombre estimé d'accidents serait de 150.

Ce serait une erreur d'analyse que de tirer des conclusions sur le pourcentage d'augmentation ou de réduction des accidents survenus au cours d'une période limitée d'une année ou deux. Une réduction de 5 % par rapport à l'année précédente doit être interprétée en fonction de la tendance générale. Il est reconnu que le nombre d'accidents a décliné, et ce, au cours de toute la période pour laquelle des données ont été colligées. Les affirmations les plus fallacieuses sont celles qui attribuent une réduction annuelle à des interventions particulières, par exemple à une campagne de sensibilisation dans les médias. Une telle affirmation est fort probablement une justification politique de dépenses de fonds, et la réduction aurait quand même eu lieu sans la campagne. À titre de compléments, ces campagnes sont susceptibles de sensibiliser les gens, mais à titre de mécanismes destinés à modifier les comportements aux passages à niveau, leur efficacité est fort probablement négligeable (voir Evans, 1985, 1991; OCDE, 1990). Lorsque les campagnes de sensibilisation sont jumelées à des mesures d'applications des règlements ou à d'autres contre-mesures, leur efficacité devrait être évaluée. Le recours à des contre-mesures particulières et leur efficacité relative dans la réduction du nombre d'accidents sont abordés à la section 5.

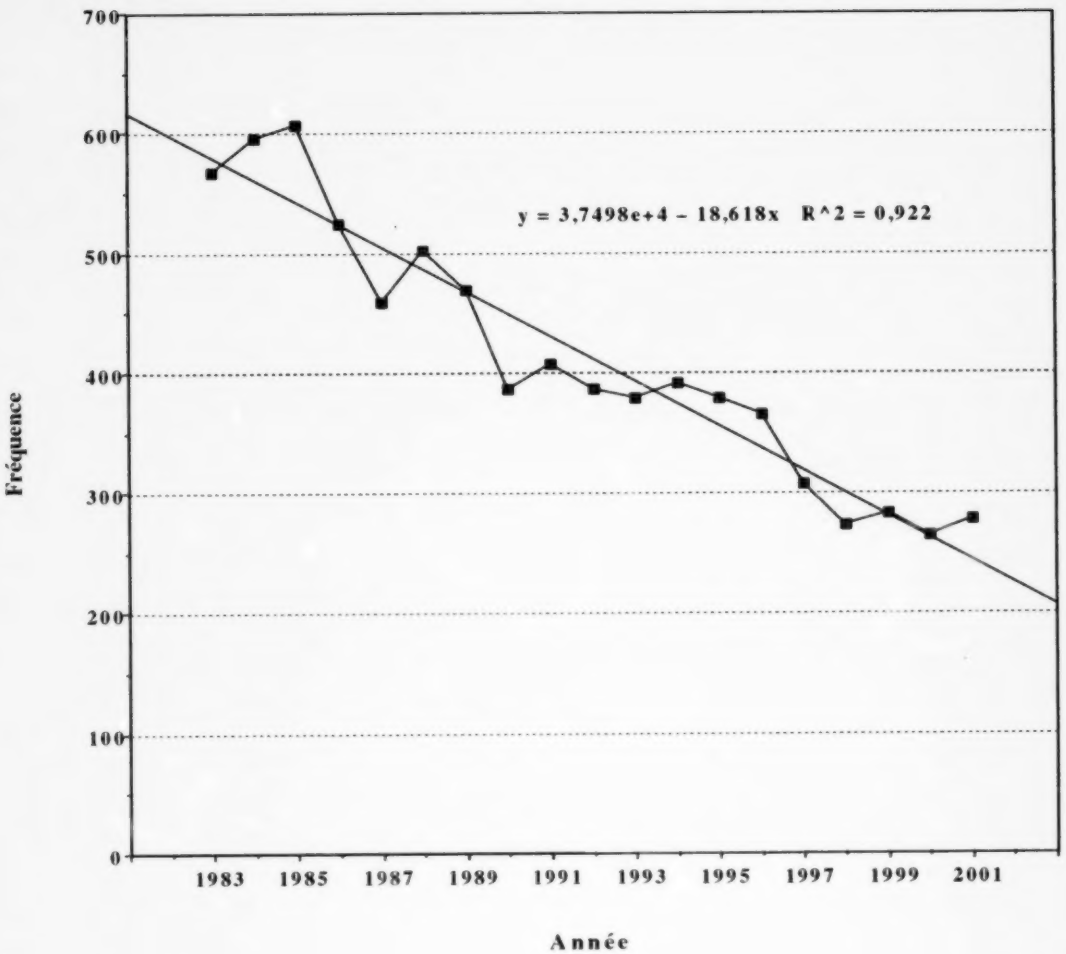

Figure 6.1 Nombre d'accidents par année aux passages à niveau, de 1983 à 2001 (N = 7 819)

Tout comme le nombre total d'accidents, le nombre d'accidents aux passages à niveau automatisés et non automatisés a chuté de moitié au cours des 19 dernières années (voir la figure 6.2). L'augmentation du nombre d'accidents aux passages à niveau privés en 1993 reflète les changements apportés aux exigences de leur signalement. Avant 1993, seuls les accidents aux passages à niveau privés et de ferme étaient signalés s'il y avait des blessures graves ou légères ou des décès, ou lorsqu'il y avait un déraillement causant des dommages matériels de 7 350 $ ou plus à la voie principale. Depuis 1993, tous les accidents aux passages à niveau privés et de ferme doivent être signalés.

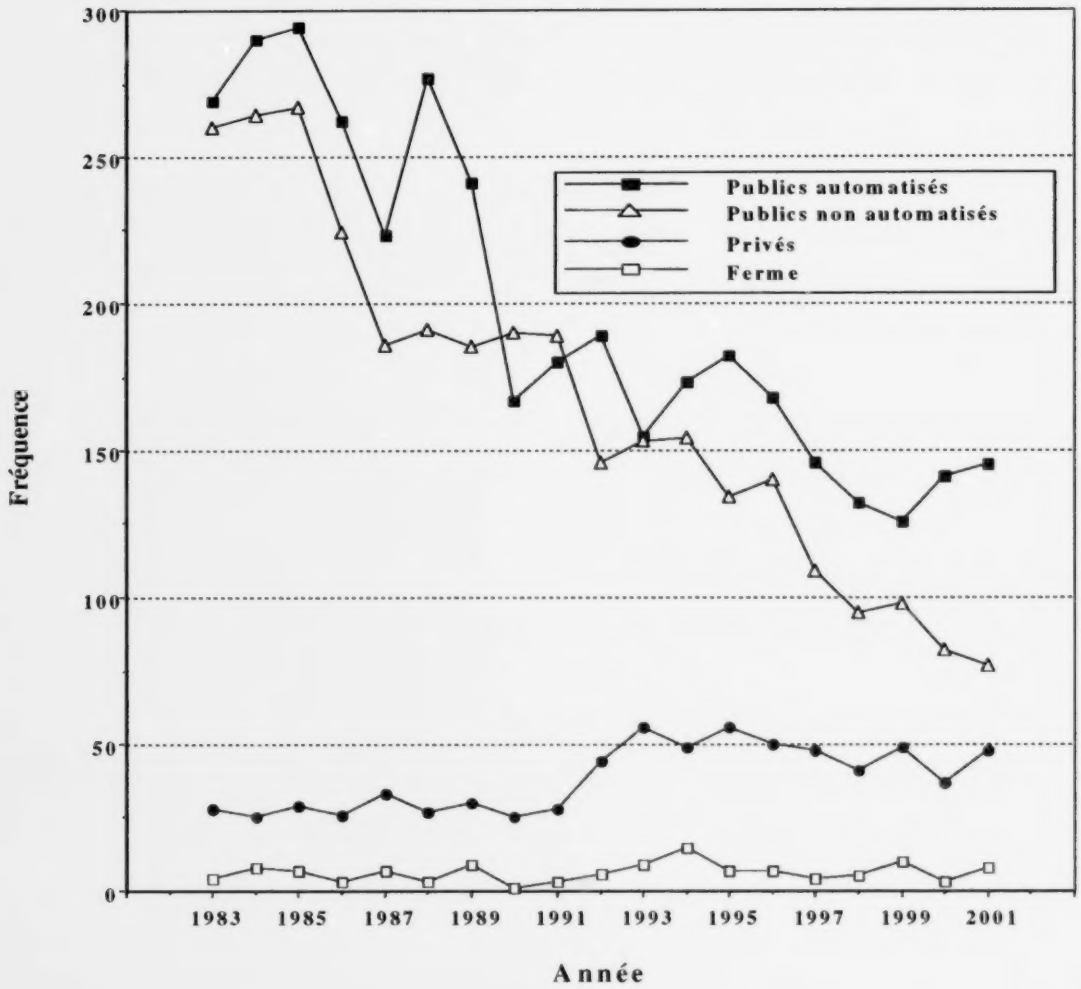

Figure 6.2 Nombre d'accidents par année par type de passage à niveau, de 1983 à 2001

6.3 Analyse des décès, des blessures et des risques

Le signalement des accidents aux passages à niveau, tout comme le signalement de ceux qui se produisent sur les routes, est davantage significatif lorsqu'il est exprimé en fonction du taux plutôt qu'en fonction de la fréquence des accidents. Il se produit davantage d'accidents sur certaines routes, par exemple aux intersections dans les centres urbains, notamment parce que davantage de véhicules y circulent. De même, il y aura davantage d'accidents aux passages à niveau en Ontario qu'au Nouveau-Brunswick, notamment parce qu'il y a davantage de passages à niveau et de circulation ferroviaire et routière en Ontario. Ainsi, il serait pertinent de signaler

les accidents en fonction d'un indice quelconque de risque. Dans la documentation sur la sécurité routière, cet indice est exprimé en nombre d'accidents par million de kilomètres-véhicule, par 100 000 conducteurs en règle, ou en fonction du nombre de véhicules routiers. Dans le cas des intersections routières, le taux est exprimé selon le nombre de véhicules qui franchissent l'intersection par unité de temps (par exemple, par année ou par mois).

De même, dans le cas des passages à niveau, un des principaux déterminants du taux d'accidents serait une fonction de la fréquence à laquelle les véhicules routiers et les trains franchissent le passage. Il est donc essentiel de connaître le volume de circulation ferroviaire et routière. En outre, les facteurs comme la longueur et la vitesse du train seraient pertinents. Par exemple, un train de passagers de 12 wagons occupera le passage à niveau beaucoup moins longtemps qu'un train de marchandises de 100 wagons, car ce dernier est beaucoup plus long et est généralement plus lent. Un train de marchandises occupera le passage plus longtemps, ce qui accroît la durée d'exposition aux véhicules routiers. C'est là un problème surtout la nuit ou dans des conditions de visibilité réduite (neige ou brouillard). Les données sur les incidents impliquant un train de marchandises (FRA, 2001) indiquent que les trains qui comptent plus de 100 wagons ont trois fois plus d'accidents que les autres types de trains. Cependant, comme la longueur des trains est exprimée dans chaque catégorie par tranche de 5 wagons (de 41 à 45 wagons) ou de 10 wagons (de 81 à 90 wagons), les incidents dans la catégorie >100 wagons seront plus nombreux parce que cette catégorie est davantage inclusive. Les incidents impliquant un train de passagers indiquent que ce train est en fait beaucoup plus court que le train de marchandises.

En matière d'accidents, il serait préférable de parler du nombre de collisions plutôt que du nombre de décès ou de blessures, car il peut y avoir plusieurs décès ou blessures lors d'une seule collision. C'est que le nombre de personnes en cause peut être fonction du nombre d'occupants dans le véhicule, ce qui est dans une certaine mesure une question de hasard. On pourrait se demander si tel passage à niveau est plus dangereux que tel autre lorsque dix personnes sont décédées dans une seule collision au premier passage (par exemple, lors d'une collision avec un autobus) alors que dix personnes ont perdu la vie dans dix collisions au deuxième passage. Il semble que le second passage à niveau soit plus dangereux que le premier. Il faudrait aussi tenir compte de l'endroit où est situé le passage et des types de véhicules qui le franchissent. Les

passages empruntés par un grand nombre de véhicules lourds seront sans doute les plus dangereux.

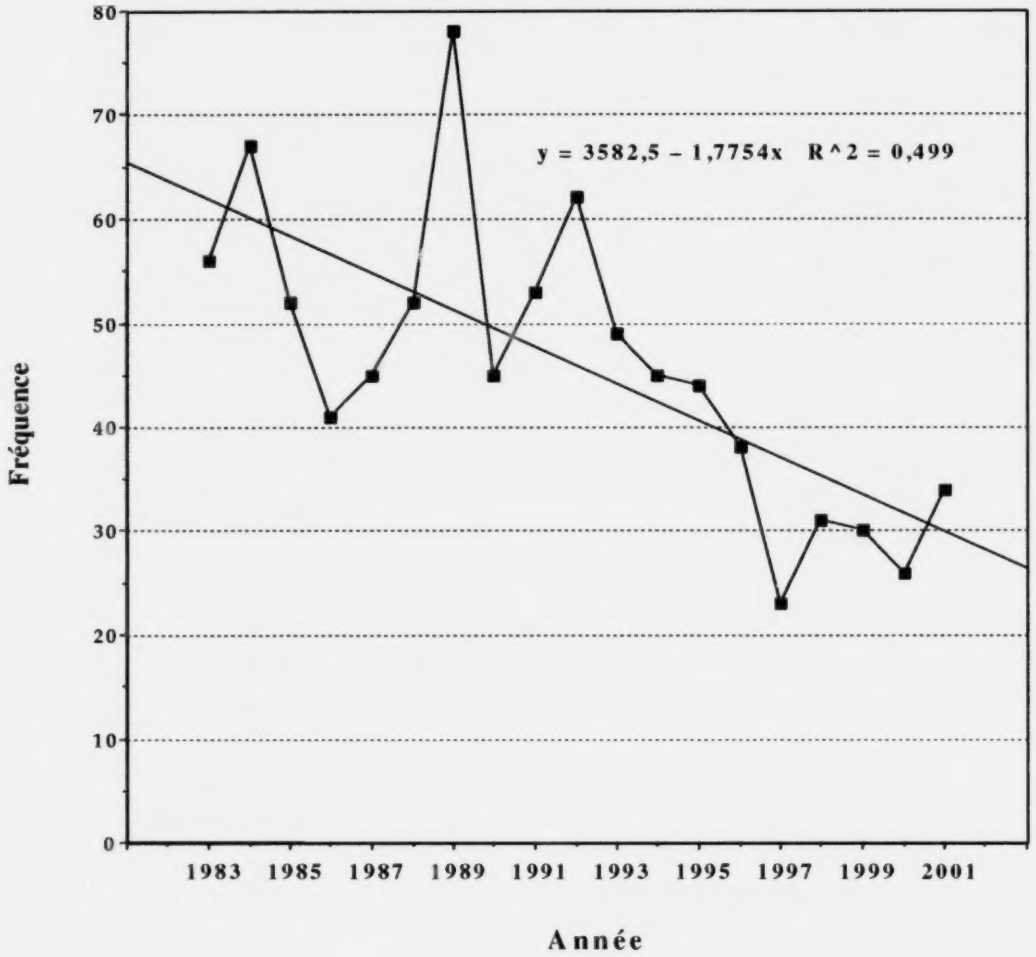

Figure 6.3 Nombre de décès survenus lors d'accidents, de 1983 à 2001

Entre 1983 et 2001, une moyenne de 46 occupants de véhicule sont décédés chaque année au Canada dans un accident à un passage à niveau. La figure 6.3 montre le nombre total de décès survenus au cours de cette période. De 1983 à 1992, des 551 occupants décédés, 541 étaient des conducteurs et 10 des passagers. De 1993 à 2001, 246 étaient des conducteurs et 74 des passagers. L'équation de régression ne présente pas une bonne adéquation des données ($R^2 = 0,50$). Les valeurs des années 1989 et 1992 sont élevées, alors que celles des années 1986

et 1997 sont faibles. Le nombre de décès par année varie le long de la ligne de régression, qui établit une adéquation entre les valeurs élevées et faibles.

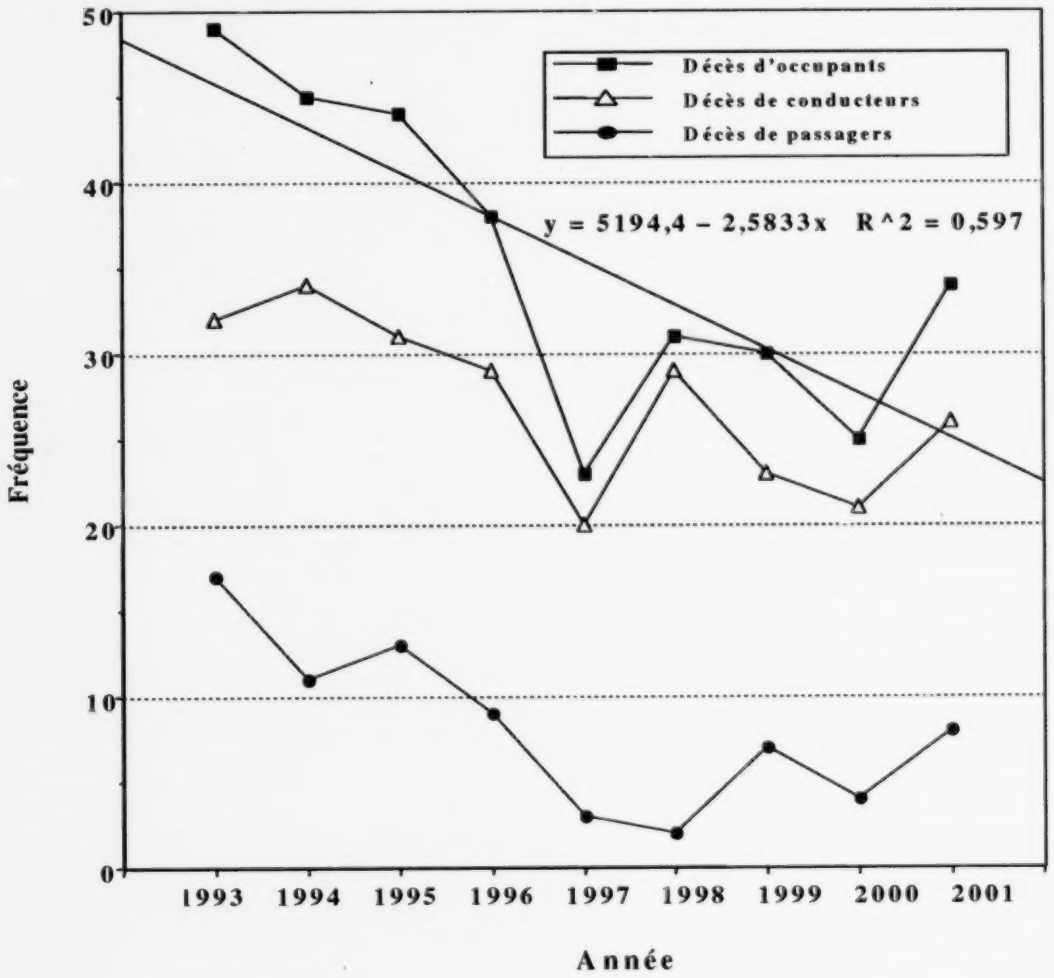

Figure 6.4 Types de décès des occupants de véhicules, de 1993 à 2001 (N = 320)

La fréquence des décès d'occupants de véhicule par année a chuté de 1993 à 2001 (voir la figure 6.4). Ces chiffres ne comprennent cependant pas les décès de piétons ou d'intrus. De façon générale, les données sur les décès sont perçues comme davantage complètes et précises. Au cours de cette période, 320 décès sont survenus. Le nombre annuel moyen de conducteurs et de passagers qui sont décédés dans un accident à un passage à niveau était de 27 et 8 respectivement. En 1993, 49 personnes sont décédées dans un accident à un passage à niveau

comparativement à 34 en 2001. La distinction entre les décès de conducteurs et ceux de passagers n'a pas été établie de façon uniforme avant 1993. Le nombre de décès a chuté dans les deux catégories de 1993 à 2001. Afin de prédire le nombre de décès par année, une équation de régression a été appliquée à tous les décès survenus de 1983 à 2001 (N = 871). Selon cette équation, 21 décès devraient survenir en 2006. L'adéquation globale (R^2 = 0,50) était relativement faible. La fréquence des décès varie d'année en année (par exemple, 1997 par rapport à 2001). Une importante variance annuelle affaiblit l'adéquation.

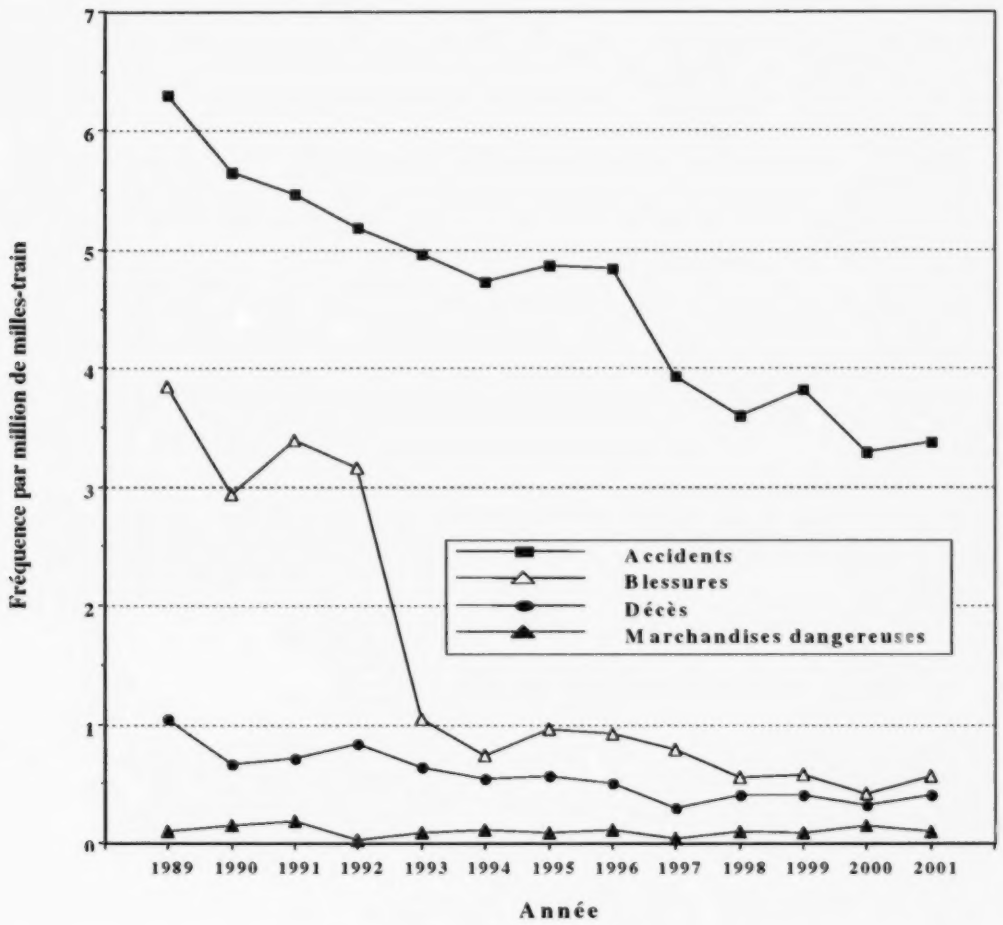

Figure 6.5 Fréquence des accidents de tous genres, des blessures, des décès ainsi que des accidents concernant des marchandises dangereuses, par million de milles-train, de 1989 à 2001 .

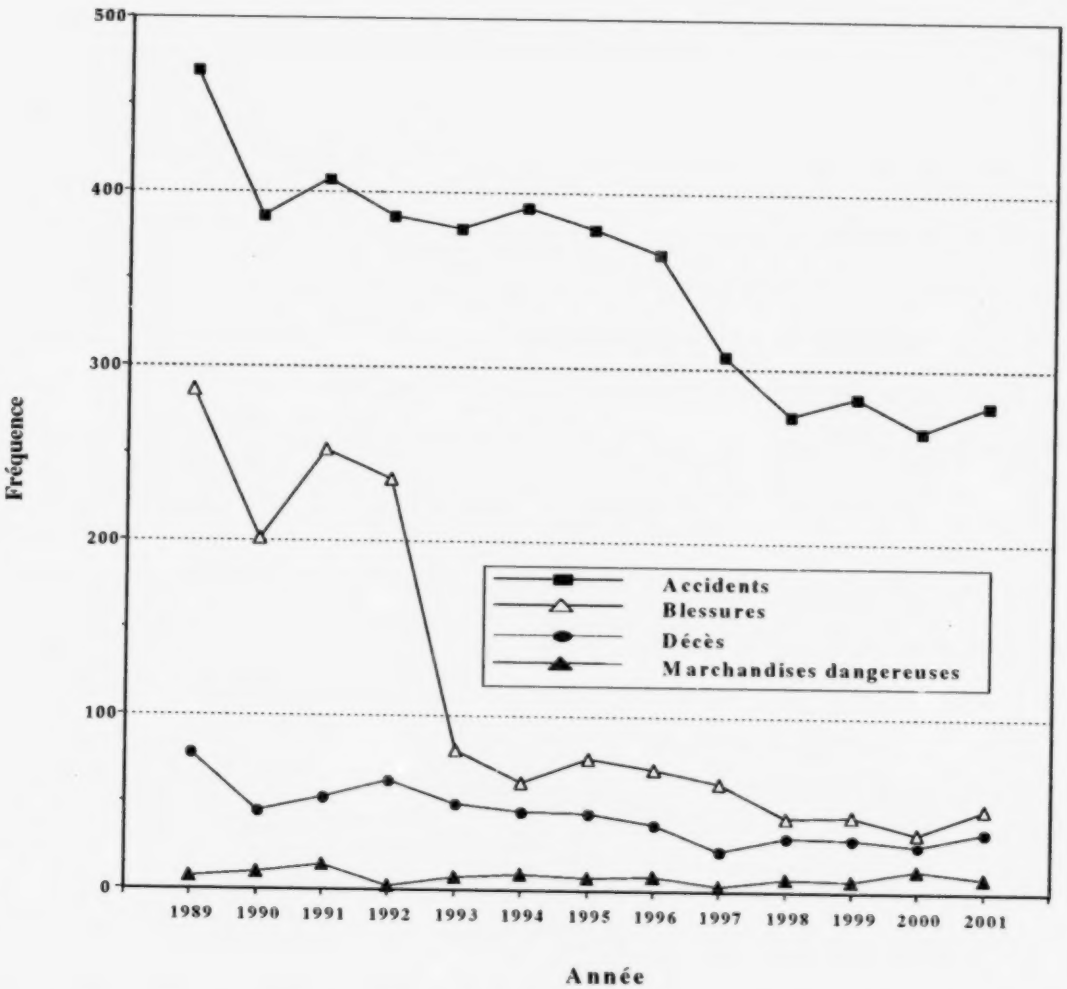

Figure 6.6 Fréquence des accidents, des blessures et des décès, de 1989 à 2001

Les figures 6.5 et 6.6 illustrent le nombre d'accidents, de blessures, de décès et d'accidents impliquant des marchandises dangereuses exprimé en fréquence par million de milles-train (MMT) (6.5) et en fréquence (6.6). L'importante chute dans le nombre de blessures de 1992 à 1993 reflète un changement dans les critères de classification. Les critères de signalement ont été modifiés par le BST en 1993 de façon à ne plus tenir compte que des blessures graves. Le nombre d'accidents, de blessures et de décès a chuté de 1989 à 2001, alors que le nombre d'accidents impliquant des marchandises dangereuses est demeuré constant.

Les courbes des accidents et des blessures n'affichent qu'une légère différence en raison du rajustement des MMT. Les deux figures sont étonnamment similaires. Nous nous attendions à ce que les quatre courbes soient davantage touchées par le rajustement des MMT dans le dénominateur. Les MMT sont établis en fonction du kilométrage soumis par les grandes compagnies de chemin de fer et introduisent fort probablement une erreur constante dans les calculs mensuels et annuels. En 1997, les calculs de MMT ont été modifiés pour tenir compte du kilométrage dans les triages. La mesure des risques liés aux MMT renvoie aux risques dans les opérations, mais pas nécessairement à l'interaction entre véhicules et trains aux divers passages à niveau. L'utilisation de mesures de risques comme les MMT n'est cependant pas sans limite (Robertson, 1998).

Les risques calculés selon le kilométrage n'indiquent pas le type de conduite. Il serait possible, par exemple, d'avoir un kilométrage très élevé sans avoir jamais franchi un passage à niveau. Une mesure du nombre de passages à niveau franchis, qui serait subjective, est nécessaire. Si des données sur les risques étaient disponibles pour toutes les variables de cette section, quel en serait l'effet sur l'expression des données? Là où le kilométrage est faible pour une variable en particulier, cette variable serait accentuée, et si le kilométrage est élevé, la variable sera moindre. Puisque les conducteurs jeunes et âgés se déplacent moins que ceux qui travaillent activement (Evans, 1988), si les décès sont exprimés en fonction du kilométrage parcouru (voir la figure 6.7), les pattes du «U» inversé seraient accentuées. L'effet net d'un rajustement des risques serait d'accentuer le «U» inversé de la figure 6.7. Le rajustement d'autres variables modifierait quelque peu leur profil. Les rapports proportionnels entre les variables changeront, et dans certains cas, l'ordre relatif des variables pourrait changer.

L'objectif de *Direction 2006*, qui consiste à réduire de moitié le nombre de collisions aux passages à niveau d'ici 2006, sera-t-il atteint? Selon ce que l'on entend par collision, la moitié des accidents survenus depuis 1996 est égale à 183, la moitié des blessures graves est égale à 27, et la moitié des décès est égale à 19. En utilisant la régression linéaire, 150 accidents, 6 blessures et 21 décès se produiraient en 2006. Ces prévisions peuvent être inexactes, car les blessures et les décès d'une année à l'autre sont très variables. Selon les données actuelles, *Direction 2006* atteindra fort probablement son objectif en ce qui touche les accidents.

De 1993 à 2001, 155 décès sont survenus où le sexe et l'âge de l'occupant étaient connus. La figure 6.7 montre le nombre de décès dans chaque groupe d'âge et de sexe. Dans ce petit échantillon, 77,4 % des personnes décédées à un passage à niveau étaient des hommes, les femmes ne représentant que 22,8 % des personnes décédées. La fréquence des décès est plus élevée chez les hommes que chez les femmes dans tous les groupes d'âge. Quelque 66,5 % de tous les décès sont survenus dans le groupe des 26 à 64 ans. Les personnes de ce groupe sont celles qui se déplacent le plus et qui sont le plus à risque (Evans, 1991). Des données sur les risques que courent tant les hommes que les femmes seraient requises pour déterminer pourquoi les décès sont plus fréquents chez les hommes. Ces derniers franchissent-ils des passages à niveau plus souvent, de façon moins sécuritaire, ou les deux? Ces données doivent donc être interprétées avec prudence. Le même phénomène a été signalé dans les statistiques de la FRA (FRA, 2001). Cependant, les groupes d'âge retenus dans les données de la FRA (2001) pour l'an 2000 sont moins de 16 ans (N = 61), de 16 à 21 ans (297) et plus de 21 ans (425). Cette classification indique un problème chez les jeunes conducteurs, mais ne permet pas de comprendre les accidents des conducteurs de plus de 21 ans.

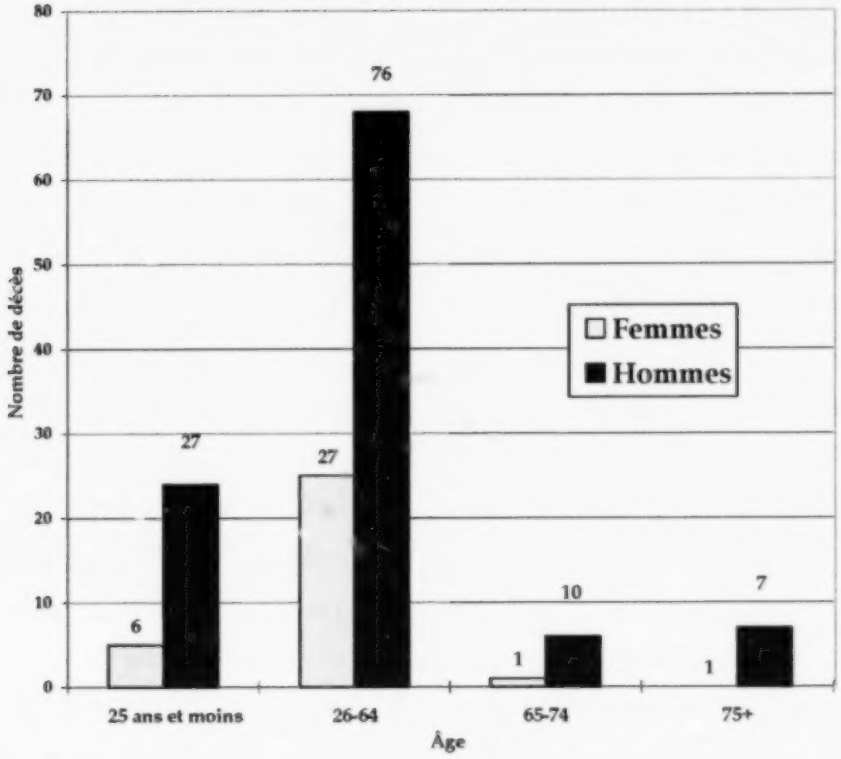

Figure 6.7 Décès répartis selon l'âge et le sexe, de 1993 à 2001 (N = 155)

La figure 6.8 montre la répartition des décès par type de véhicule au cours des 19 dernières années. La catégorie «Automobiles» comptait pour 53 % des accidents mortels de 1983 à 2001 (N = 871), alors que l'ensemble des catégories «Camions légers», «Camions gros porteurs», «Camions lourds» et «Camionnettes» comptaient pour 40 % des accidents mortels. Les camions légers, catégorie qui compte pour 27 % des accidents mortels, roulent généralement en milieu rural ou dans des secteurs urbains industriels, là où l'on retrouve davantage de voies ferrées. La catégorie des camions de transport de marchandises dangereuses comptait pour 2 accidents mortels (0,23 %) de 1983 à 2001 (voir le BST, 1993, octobre). Les pourcentages étaient similaires aux États-Unis (FRA, 2001). La catégorie «Autres» comprend les motocyclettes, les bicyclettes, les véhicules d'urgence, les motoneiges, les véhicules tout terrain, les niveleuses, les tracteurs de ferme, le matériel agricole et les fauteuils roulants.

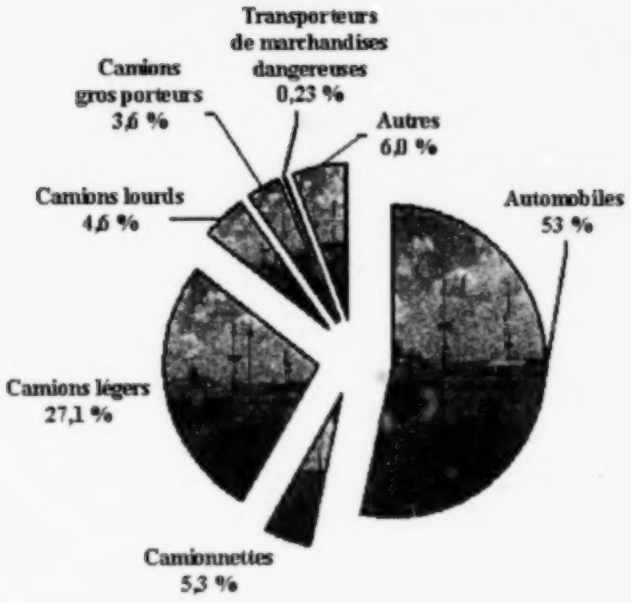

Figure 6.8 Décès d'occupants de véhicule répartis par type de véhicule, de 1983 à 2001 (N = 871)

Les camions aux États-Unis sont surreprésentés en ce qui touche les collisions entre véhicules et trains (Loumiet et Jungbauer, 1995; Mortimer, 1988). Ce phénomène est peut-être attribuable au fait qu'ils sont lents et ne peuvent donc respecter les normes de visibilité et de distance pour franchir les voies. L'accélération d'autobus (Kendall et Morrissette, 1995, mai) et de camions gros porteurs (Kendall et Morrissette, 1995, juillet) pour franchir des voies qui variaient en nombre et en charge indiquait que la règle de la ligne de visibilité de 10 secondes est peut-être inadéquate dans certaines circonstances. Des conclusions concernant la capacité des autobus et des camions gros porteurs d'accélérer adéquatement à partir du point mort sont présentées à la page 5-1 des deux rapports.

La capacité des camions pleinement chargés de s'arrêter complètement à un passage à niveau lorsque la chaussée est enneigée, glacée ou humide constitue une autre préoccupation (voir BST, 1991b, janvier). Les gros camions causent généralement un déraillement lors de collisions, ce qui entraîne des dommages importants.

6.4 Type de passage à niveau, configuration des intersections, circulation et débit des trains

La configuration des passages à niveau et le débit des trains et des véhicules ont une incidence sur les accidents. La présence de différents types de panneaux et de signaux automatisés et non automatisés lors d'accidents a été signalée depuis 1993 (N = 2 710). Environ 56 % des accidents se sont produits à des passages à niveau automatisés, c'est-à-dire ceux avec barrières, feux et sonnerie; avec feux et sonnerie seulement; ou avec un dispositif inconnu (voir la figure 6.9). De ce nombre, des feux clignotants étaient présents dans 73,6 % des accidents, alors que des FCS et des barrières l'étaient dans 27,2 % des accidents.

Indépendamment du type de passage à niveau, 75,5 % des accidents sont survenus à un passage à niveau où il y avait une SAPN, 14 % des signaux d'arrêt, et 10,5 % un autre dispositif. Des panneaux et des signaux (SAPN, arrêts, non automatisés inconnus et autres dispositifs non automatisés) étaient présents dans 44 % des accidents. Le plus grand nombre d'accidents sont survenus à des passages à niveau privés non automatisés où il y avait des panneaux d'arrêt (N = 108). Les panneaux d'arrêt sont fort probablement utilisés plus fréquemment que d'autres signaux aux passages à niveau privés. Le nombre d'accidents, de décès et d'accidents non mortels par type de signal indique que les panneaux d'arrêt avaient les taux les plus élevés par 100 passages, suivis des feux clignotants, des barrières et des croix d'avertissement (FRA, 2001).

L'utilisation d'une SAPN à un passage automatisé ne permet pas de distinguer parfaitement les passages automatisés des passages non automatisés. Par exemple, 809 accidents sont survenus à un passage à niveau automatisé où il y avait une SAPN et 309 à un passage à niveau public non automatisé. Idéalement, un passage à niveau est considéré comme automatisé lorsqu'il y a une SAPN. Le pourcentage de cas manquants aux passages à niveau automatisés était de 51,3 %, et aux passages à niveau non automatisés il était de 45,2 %. Ces chiffres reflètent le nombre de cas non classifiés avant 1993, de même que le nombre d'inconnus automatisés et non automatisés depuis 1993.

Aux États-Unis, un nombre disproportionné d'accidents surviennent à des passages à niveau automatisés (Carroll et Haines, 2002a; Mortimer, 1988). Environ 78 % des passages à niveau aux États-Unis sont non automatisés et 22 % sont automatisés. Quelque 45 % des accidents sont survenus à des passages à niveau non automatisés (avec panneau d'arrêt et croix d'avertissemement) et 48,2 % des incidents se sont produits à des passages automatisés.

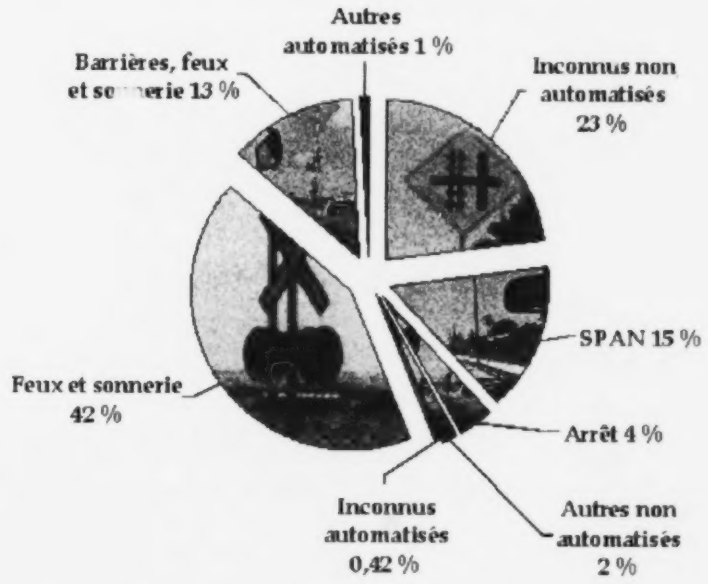

Figure 6.9 Pourcentage des accidents répartis par type de panneau et de signal, de 1992 à 2001

Les angles des passages à niveau par rapport à la route peuvent constituer un problème de visibilité (Mortimer, 1988). Dans la BDEF, les accidents les plus fréquents sont survenus aux passages dont les angles par rapport à la route étaient de 80 degrés ou moins (ou de plus de 100 degrés). Les données ont été recoupées avec celles du Système intégré d'information ferroviaire (SIIF) de Transports Canada afin d'obtenir les angles des passages à niveau (voir la figure 6.10). Les angles obtenus de la BDEF et du SIIF sont généralement les angles des passages à niveau (c'est-à-dire les plus aigus), donc pas nécessairement l'angle d'accident. Par exemple, moins de 100 des passages à niveau recensés dans la BDEF ont un angle supérieur à 100 degrés.

Les données du SIIF indiquent que plus de la moitié des accidents sont survenus à un passage dont l'angle d'intersection était de 80 degrés ou moins. Là où la voie et la route sont perpendiculaires, l'angle est de 90 degrés. Une intersection de 80 degrés pourrait également être de 100 degrés (angle opposé). Bien que ces données ne puissent réellement être interprétées en contexte, davantage d'accidents surviennent aux passages dont l'angle est inférieur à 80 degrés et supérieur à 100 degrés.

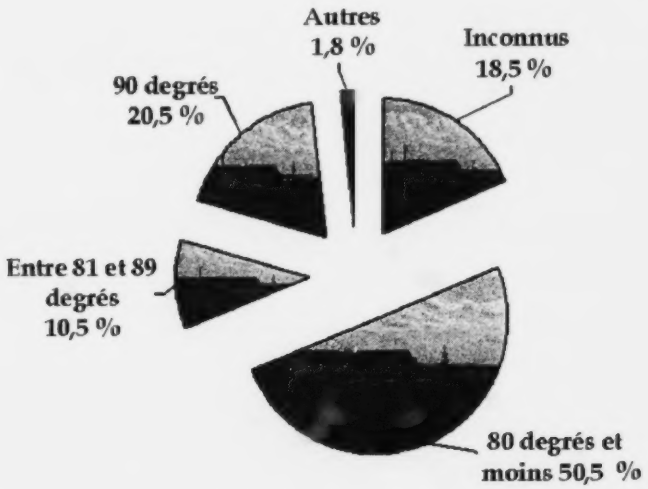

Figure 6.10 Accidents aux passages à niveau répartis selon l'angle, de 1983 à 2001 (N = 7 819)

Idéalement, l'angle d'intersection devrait indiquer la direction de l'approche du véhicule et la direction du train. Par conséquent, les données sur les angles contenues dans le SIIF et la BDEF ne sont que d'une utilité limitée. La collecte de données précises sur les angles et la direction du train et du véhicule permettrait de mieux répondre à ce genre de question. Finalement, si un train arrive derrière le conducteur, il sera plus difficile pour lui de se retourner et de le voir que si le train arrive d'un angle qui le situe plus près du parcours avant (Åberg, 1988; Mortimer, 1988; NTSB, 1998a).

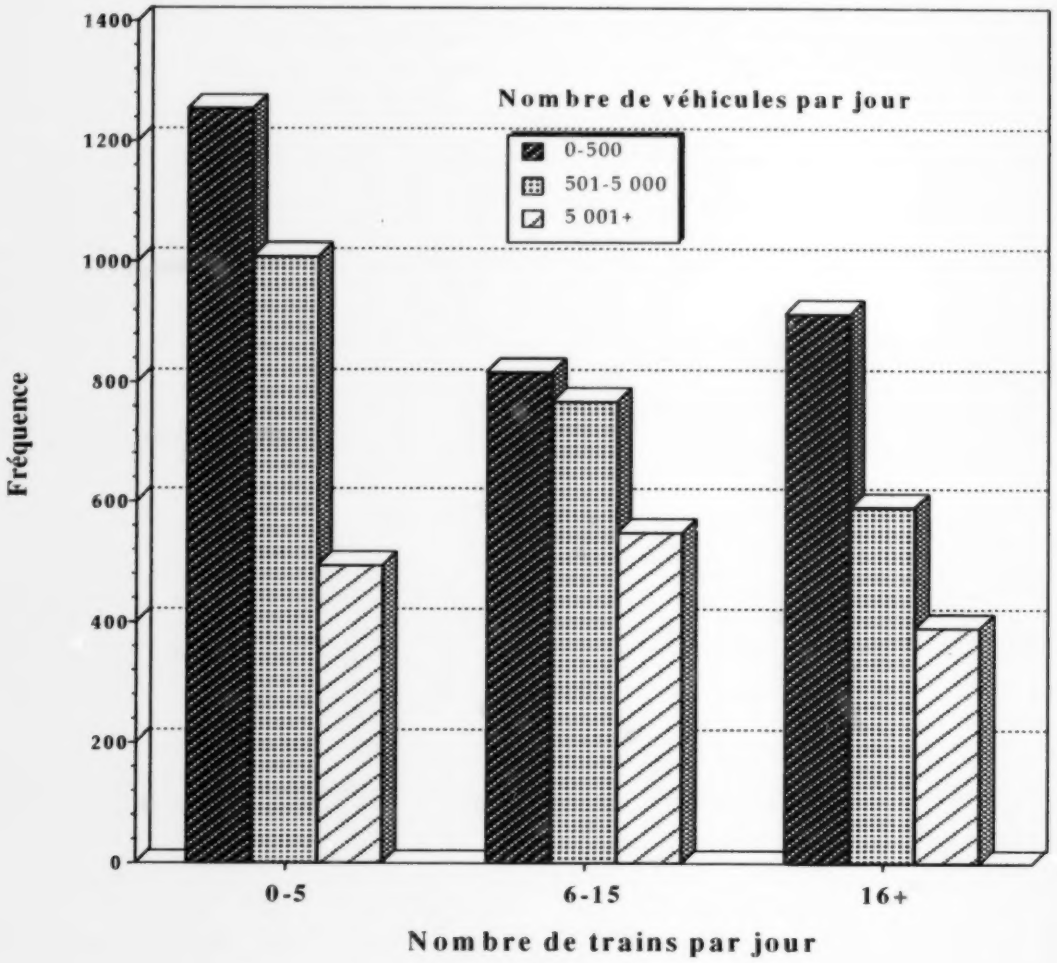

Figure 6.11 Fréquence d'accidents répartis selon la circulation quotidienne des véhicules et des trains, de 1983 à 2001 (N = 6 795)

De 1983 à 2001, les faibles débits de véhicules (de 0 à 500 par jour) semblent liés à une fréquence élevée d'accidents aux passages à niveau (voir la figure 6.11). Au cours de cette période, 1 262 des 3 264 accidents sont survenus à des intersections urbaines et 1 085 à des intersections rurales. Il peut donc y avoir davantage d'accidents là où les débits de circulation sont peu élevés, par exemple aux intersections rurales. Lorsque le débit de circulation excédait 5 000 véhicules par jour, les fréquences d'accidents étaient quelque peu similaires dans toutes les catégories de débit de trains. Compte tenu des justifications fondées sur le débit des véhicules et des trains décrites à la section 2, les passages à niveau où il y a de forts débits de véhicules et de

trains de passagers à grande vitesse et où il y a eu de nombreux accidents sont davantage susceptibles d'être protégés par des barrières, des sonneries et des feux. Obliger, par exemple, les barrières réduira la probabilité que des accidents surviennent aux passages à niveau. Les secteurs urbains à fort débit sont davantage susceptibles d'être protégés par des barrières, des sonneries et des feux, mais ce ne sont pas tous les passages à niveau en région urbaine qui sont dotés de ces dispositifs dispendieux. Carroll et Haines (2002a) ont observé que les infractions sont davantage susceptibles de se produire là où il y a peu de congestion au passage à niveau. Les conducteurs hésiteront davantage à contourner les véhicules et les barrières lorsqu'il y a congestion ou un fort débit de circulation.

6.5 Période du jour et de l'année

Environ 40 % des accidents surviennent entre 9 h 31 et 15 h 30. La figure 6.12 montre la fréquence de tous les accidents admissibles par heure du jour de 1983 à 2001. Environ 29 % des accidents sont survenus pendant les heures de pointe le matin et le soir. La fréquence des accidents survenus dans la journée est similaire à celle constatée par d'autres enquêteurs et chercheurs (FRA, 2001; Hellman et Carroll, 2002; NTSB, 1998a; Wigglesworth, 1979). De toute évidence, la majeure partie des accidents surviennent dans la journée.

Le nombre relatif de décès est moindre dans la journée (de 9 h 31 à 15 h 30) et plus élevé le matin (de 0 h 1 à 9 h 30). La figure 6.13, Fréquence des décès répartis selon l'heure du jour, est très similaire à la figure 6.12. Les décès sont plus nombreux de 9 h 31 à 15 h 30. Les données de la FRA (2001) indiquent que le plus grand nombre d'accidents surviennent en semaine (du lundi au vendredi). Le nombre d'accidents chute considérablement les samedis et les dimanches (voir aussi Wigglesworth, 1979).

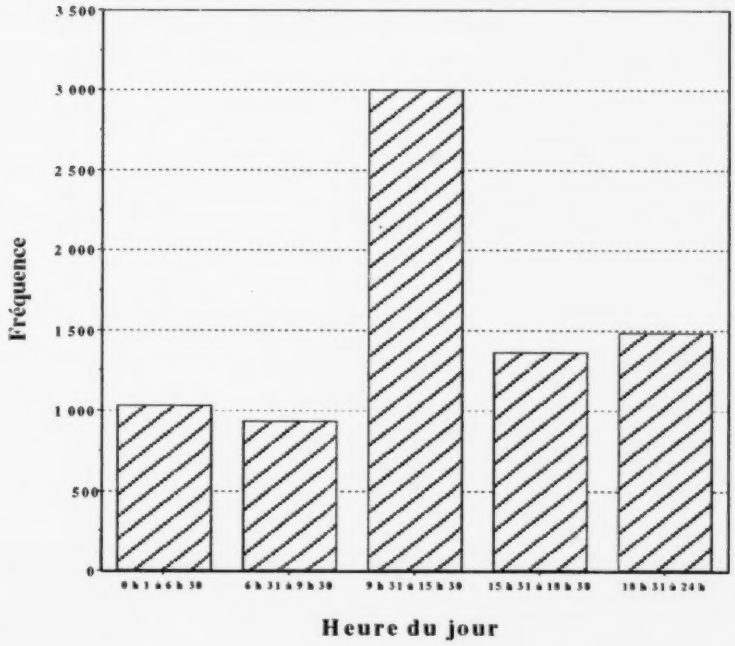

Figure 6.12 Fréquence des accidents répartis selon l'heure du jour (N = 7 819)

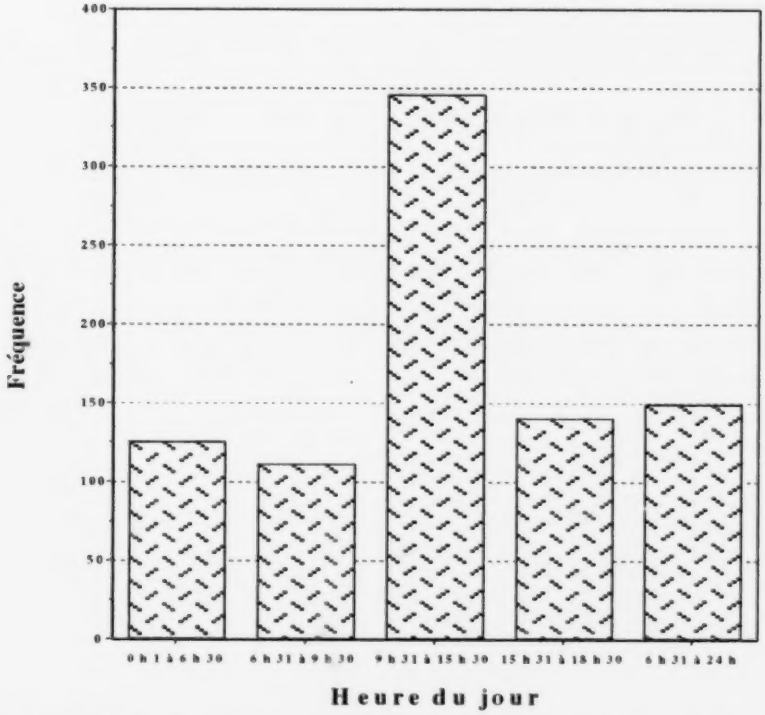

Figure 6.13 Fréquence des décès répartis selon l'heure du jour (N = 871)

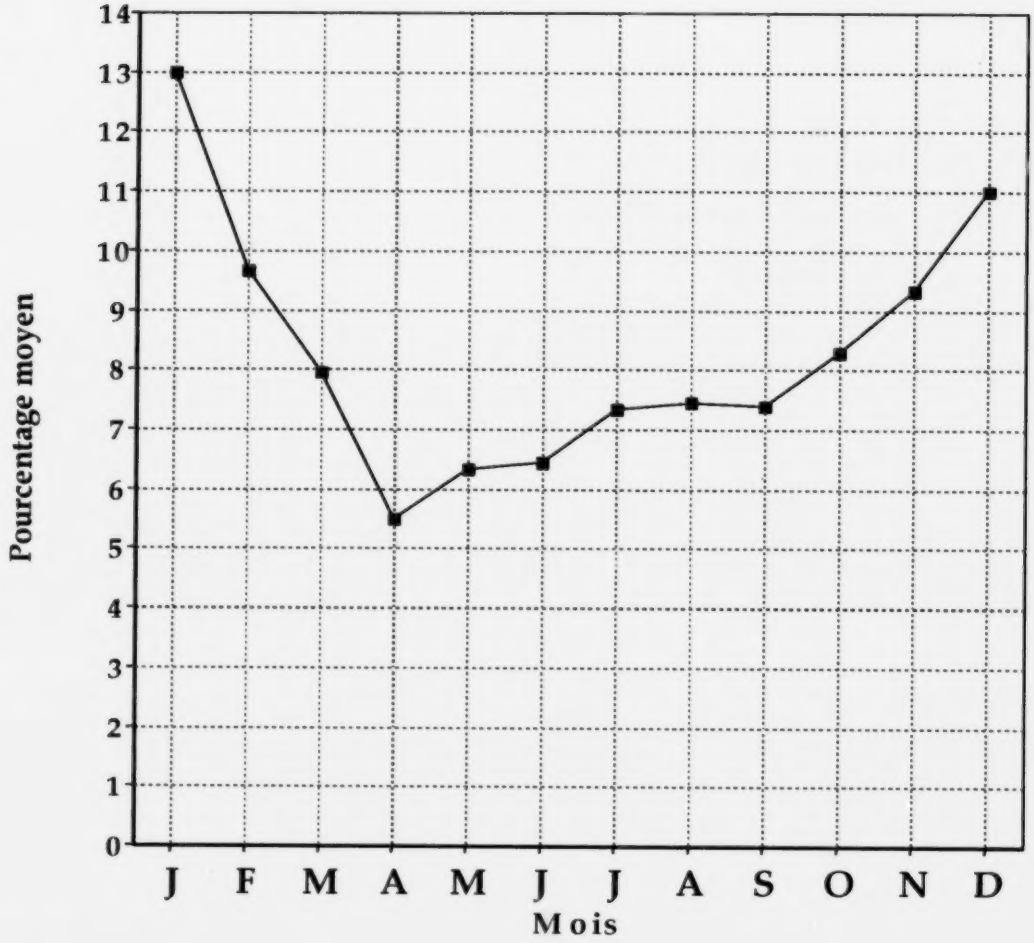

Figure 6.14 Pourcentage moyen des accidents par mois, de 1983 à 2000 (N = 7 541)

Le climat au Canada varie d'année en année, et la tendance est aux hivers plus doux. Afin de réduire l'incidence du climat d'une année quelconque sur la fréquence des accidents, les données de 1983 à 2000 ont été pondérées et le pourcentage de chaque mois a été calculé (voir la figure 6.14). Janvier et décembre présentent le pourcentage le plus élevé d'accidents par année, et avril le plus faible. La tabulation des accidents et des incidents réalisée par la FRA pour 2002 montre la même courbe mensuelle, soit des sommets en décembre et janvier et un creux en avril (FRA, 2001).

La fréquence élevée des accidents au cours des mois d'hiver (de novembre à février) pourrait être attribuée à plusieurs facteurs. De 1993 à 2001, 443 accidents sont survenus alors que la route

était glacée ou enneigée (voir aussi le tableau 6.2). De nombreux conducteurs ne réduisent pas la vitesse de leur véhicule dans ces conditions climatiques. Lorsqu'ils arrivent au passage à niveau, ils tentent de freiner mais ne peuvent s'arrêter à temps et heurtent le train ou sont heurtés par le train. Un bon nombre de témoignages illustrent d'ailleurs ce phénomène (voir aussi la section 7). Autre facteur d'accroissement des risques d'accidents, la visibilité réduite en raison du nombre réduit d'heures de clarté, de la poudrerie, du brouillard, etc. Ainsi, les trains qui franchissent un passage à niveau ne sont pas vus pour diverses raisons, par exemple la perceptibilité. Les trains qui se déplacent lentement dans ces conditions présentent des problèmes particuliers de perceptibilité (Mortimer, 1988; NTSB, 1998a).

Par exemple, le BST a mené une enquête approfondie dans un cas de collision entre un camion gros porteur et un train de passagers. Quatre passagers sont décédés et dix ont dû être soignés (BST, 1999, février). Lorsque la collision est survenue, la chaussée était couverte de neige et de glace. Le camion n'a pu s'arrêter et a percuté le wagon-bar.

6.6 Comportements imprudents et conditions dangereuses

Les accidents du tableau 6.1 ont été catégorisés selon les critères du BST relatifs aux comportements imprudents utilisés régulièrement depuis 1999. Les comportements imprudents ont été décrits par Reason (1993) et intégrés au processus d'enquête du BST. Un comportement imprudent est «davantage qu'une simple erreur ou infraction — il constitue une erreur ou une infraction commise en présence d'un danger potentiel : une masse, une énergie ou une toxicité quelconque qui, si elle n'est pas correctement maîtrisée, risque de causer des blessures ou des dommages» (Reason, 1993). Les données sont colligées de façon à ne pas identifier les personnes coupables. La catégorie la plus importante est «Ne s'est pas arrêté», qui compte pour 70,6 % de tous les incidents. Dans cette catégorie, 162 cas n'ont pu être classés comme comportements intentionnels ou accidentels. La classification de l'intention est établie selon la taxinomie des types d'erreurs humaines de Reason (1993). Le comportement intentionnel implique un objectif explicite. Dans 107 cas, il est évident que l'intention du conducteur était de franchir le passage à niveau afin d'éviter de devoir attendre que le train passe. Contourner les barrières (3,9 %) et franchir les barrières (1,6 %) constituent habituellement des cas d'infraction

intentionnelle. Dans 161 cas, le conducteur n'a peut-être pu s'arrêter à temps parce qu'il n'a pas vu le train, les signaux avancés du train, et ainsi de suite. Lorsqu'il y a de la glace, de la neige ou du gravier, ou que le conducteur arrive au passage à grande vitesse, il est possible qu'il glisse sur la voie (6,9 % des accidents). Les véhicules qui sont coincés sur la voie (4,3 %) et en panne sur la voie (4,1 %) constituent des cas de situation tendue.

Tableau 6.1 Comportements imprudents et intentionnalité, de 1999 à 2001

Type de comportement	Inconnu	Intentionnel	Accidentel	Total	%
Ne s'est pas arrêté	162	107	161	430	70,6
A glissé sur la voie	7	6	29	42	6,9
S'est arrêté trop près	4	9	13	26	4,3
Coincé sur la voie	7	1	18	26	4,3
En panne sur la voie	1	6	18	25	4,1
A contourné les barrières	1	21	2	24	3,9
S'est arrêté puis a continué	4	.	7	11	1,8
A franchi les barrières	1	8	1	10	1,6
Véhicule poussé sur la voie	1	1	3	5	0,8
A heurté un second train	.	.	1	1	0,2
Total	188	159	253	600	100,00

Les données de la FRA sur les incidents relatifs aux comportements des automobilistes sont classées par type de signal (barrières, FCS, croix d'avertissement, etc.). L'acte le plus courant dans le cas des barrières était «A contourné les barrières», alors que dans le cas des FCS (452), des signaux d'arrêt (186) et des croix d'avertissement (753), c'était «Ne s'est pas arrêté».

Le tableau 6.2 fait état de l'incidence des mauvaises conditions météorologiques de 1998 à 2001. La neige, la glace et le brouillard viennent respectivement en première, deuxième et troisième places. Quelque 68 % des incidents aux passages à niveau aux États-Unis sont survenus par temps clair (FRA, 2001). Quelque 21,5 % sont survenus par temps couvert, 5,5 % par temps pluvieux, 3 % par temps neigeux, et 1,7 % lorsqu'il y avait du brouillard.

Tableau 6.2 Conditions météorologiques et d'éclairage dangereuses, de 1998 à 2001

Condition	1998	1999	2000	2001	Total
Couverture neigeuse	2	5	4	3	14
Glace	4	2	.	.	6
Brouillard	1	2	1	1	5
Pluie	.	2	2	.	4
Chaussée mouillée	. 2	.	.	1	3
Soleil éblouissant	1	1	.	.	2
Nuit	.	1	1	.	2
Vent	.	.	1	.	1
À la brunante	.	1	.	.	1
Total	10	14	9	4	38

Tableau 6.3 Conditions internes dangereuses, de 1998 à 2001

Condition	1998	1999	2000	2001	Total
Attitudes	115	28	22	24	189
Attention/Vigilance	4	60	30	13	107
Traitement de l'information	13	21	14	2	50
État mental/émotionnel	6	9	4	3	22
Alcool	3	9	3	1	16
Planification	1	6	1	1	9
Handicap	.	2	.	.	2
Troubles de la vision	.	**2**	.	.	**2**
Expérience/récence	.	**1**	.	.	**1**
Total	**142**	**138**	**74**	**44**	**398**

Les attitudes, l'attention/la vigilance, et le traitement de l'information viennent au premier rang des conditions internes dangereuses de 1998 à 2001 (Tableau 6.3).

6.7 Questions additionnelles

Un certain nombre de questions n'ont pu trouver réponse en utilisant la BDEF, dont notamment la suivante : «Quelle est la fréquence des accidents avec un deuxième train ou des accidents qui surviennent à un passage à niveau à voies multiples?» Ce genre d'accident survient lorsqu'un conducteur franchit le passage à niveau après le passage d'un train et qu'un deuxième train heurte le véhicule. Une réponse partielle a été élaborée. À partir des données de la BDEF et du SIIF (N = 7 776, jusqu'au 7 novembre 2001), la fréquence des accidents à une ou plusieurs voies a pu être déterminée. De 1983 à 2001, 4 625 accidents sont survenus lorsqu'il n'y avait qu'une voie, 1 273 lorsqu'il y avait deux voies et 460 lorsqu'il y avait trois voies ou plus (jusqu'à neuf voies). Dans 1 418 cas, le nombre de voies était inconnu. Il est reconnu que les passages à niveau

à voies multiples dans les régions urbaines affichent les risques d'accidents les plus élevés (Coleman et Stewart, 1976).

Un cas patent d'un deuxième train qui a heurté un véhicule a été relevé à l'aide des critères de comportements imprudents du BST (voir le tableau 6.1). Cependant, la fréquence des accidents avec un deuxième train avant 1999 est inconnue. Étant donné que plusieurs technologies ont pour objet le scénario de l'accident avec un deuxième train, il serait utile de connaître l'importance du problème au Canada.

Le rapport d'accident ferroviaire numéro R94D0191 du BST décrit une collision avec un deuxième train (BST, 1994, novembre). Un camion gros porteur chargé a été heurté par un train de passager à environ 20 h 12 le 4 novembre 1994 au Québec. Le conducteur du camion s'était arrêté à un passage à niveau doté de feux, d'une sonnerie et de barrières afin de laisser passer un train de marchandises. Après le passage du train et la levée des barrières, il a redémarré. Quelques secondes plus tard, le système automatique s'est réactivé en raison de l'approche d'un train de passagers. Après avoir constaté que le train de passagers approchait, le conducteur du camion est descendu et s'est mis à l'abri. Le train a heurté le camion et la première locomotive a déraillé. Un réservoir de carburant de la locomotive a été percé et la fuite a alimenté un feu dans la locomotive et le premier wagon. Le feu a été éteint pas les mécaniciens de la locomotive et les pompiers. Deux passagers et deux mécaniciens ont subi des blessures mineures. Dans certaines circonstances, lorsqu'un conducteur arrive à un passage à niveau, il peut se trouver dans une situation telle qu'il ne peut ni s'arrêter, ni accélérer pour franchir la voie (BST, 1994, novembre, p. 10).

Plusieurs autres questions n'ont pu trouver une réponse complète. Des accidents sont susceptibles de survenir aux passages à niveau situés à proximité d'autres intersections (NTSB, 1998a; Wigglesworth, 1979). De 1993 à 2001, la BDEF a révélé la fréquence des accidents aux passages à niveau où il y avait des feux clignotants (6), des feux clignotants et des feux de circulation (8), et des FCS, des barrières et des feux de circulation (7). Pour connaître l'importance de ce type d'accident, il faudrait consulter les rapports de collision de la police et de la GRC. Fait important, ce type de configuration a été confirmé dans l'analyse des témoignages.

La figure 6.15 illustre les difficultés que connaissent les conducteurs aux intersections situées près des passages à niveau.

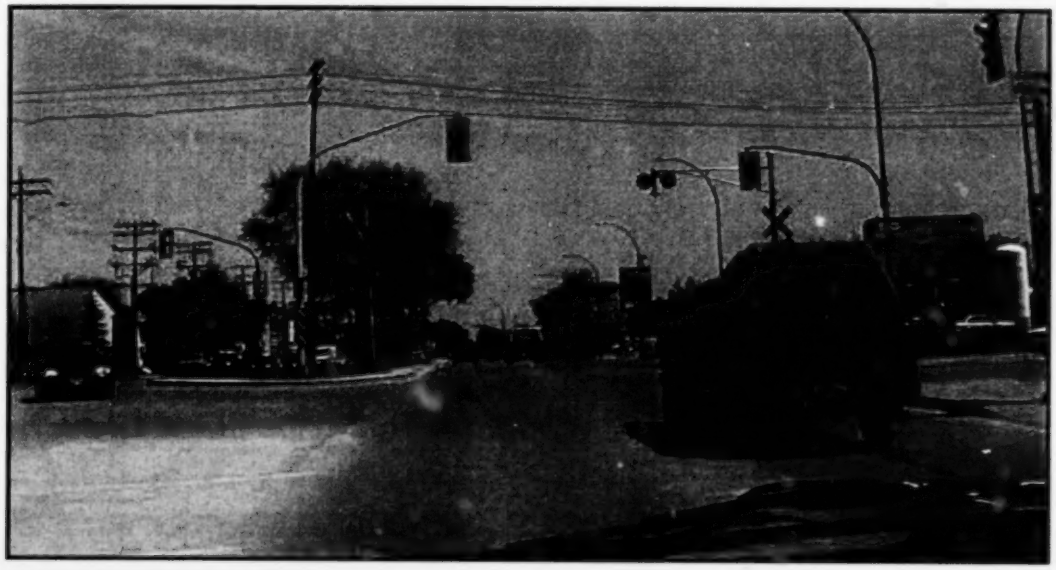

Figure 6.15 Une intersection située à proximité d'un passage à niveau dans un secteur urbain de Winnipeg
La présence d'autres véhicules, de nombreux panneaux de signalisation et de divers signaux fait en sorte qu'il est difficile de savoir ce qu'il faut faire. La synchronisation des feux de circulation (verts) et des feux du passage à niveau (rouges clignotants) n'est pas idéale. L'interconnexion des feux de circulation et des signaux du passage à niveau est conseillée (Bremer et Ward, 1997).

De même, les endroits où une route longe une voie ferrée et la traverse ensuite perpendiculairement représentent un problème connu (Åberg, 1988; Wigglesworth, 1979). Les données de la BDEF jumelées aux données de la police et des hôpitaux, ou encore des enquêtes en profondeur, peuvent permettre de combler les écarts dans les données et de mieux comprendre la situation. Les analyses qualitatives (section 7) permettent de comprendre un peu mieux cette configuration d'accident. La figure 6.16 illustre les difficultés que présentent les passages à niveau perpendiculaires.

Figure 6.16 Une intersection située à proximité d'un passage à niveau perpendiculaire dans un secteur industriel de Winnipeg
La SAPN à droite est partiellement cachée par des branches d'arbre et leur ombre. Des feux de circulation (jaunes) se trouvent à l'intersection devant. Notez le camion qui s'apprête à tourner à droite à l'intersection. Le conducteur du camion bloque la circulation à l'intersection jusqu'à ce que le train soit passé. L'activité à l'intersection exige l'attention du conducteur, ce qui signifie que moins d'attention sera accordée au passage à niveau.

6.8 Résumé des résultats quantitatifs

L'objet des analyses quantitatives était de caractériser les accidents survenus aux passages à niveau canadiens au cours des 19 dernières années. Avant ce rapport, les statistiques étaient tabulées chaque année et comprenaient certaines données sur les tendances. Cette analyse présente donc des tendances à long terme et une gamme de descriptions de variables non encore analysées.

- La fréquence de l'ensemble des accidents, des blessures et des décès aux passages à niveau a chuté de 1983 à 2001.

- De 1993 à 2001, le nombre de décès d'occupants de véhicule (conducteurs et passagers) varie considérablement d'année en année par rapport aux accidents en général.

- La proportion d'accident était plus élevée aux passages à niveau publics automatisés (56 %) qu'aux passages à niveau publics non automatisés (44 %). La constatation selon laquelle plus de la moitié des accidents surviennent à un passage à niveau automatisé, et ce, malgré qu'il existe dans l'ensemble beaucoup moins de passages à niveau automatisés, est conforme aux constatations faites dans d'autres pays, dont notamment aux États-Unis.

- La majorité des accidents (50,5 %) sont survenus à un passage où la voie ferrée coupait la route à un angle de moins de 80 degrés. Cette donnée doit cependant être interprétée avec prudence, car le SIIF ne tient généralement compte que du plus petit angle. La BDEF tient également compte du plus petit angle, plutôt que de l'angle de l'accident.

- Les accidents qui ont fait le plus de victimes depuis 1983 sont ceux avec des automobiles (53 %), des camions légers (27 %), des camionnettes (5,3 %), des camions lourds (4,6 %) et des camions gros porteurs (3,6 %).

- Les mois de janvier et de décembre affichent le pourcentage le plus élevé d'accidents par année en moyenne de 1983 à 2000. La visibilité est réduite en hiver en raison notamment du brouillard, de la neige ou du couvert de nuage, et les conducteurs mettent plus de temps à s'arrêter sur les routes glacées ou enneigées.

- La plupart des accidents sont survenus pendant la journée (38 %, de 9 h 30 à 15 h 30), ce qui est confirmé par des recherches antérieures. Les données sur les risques sont souvent négligées dans l'analyse de ce nombre élevé d'accidents pendant la journée. Par exemple, la plupart des conducteurs sont généralement sur la route pendant la journée. Par ailleurs, 29 % des accidents sont survenus pendant les heures de pointe du matin (de 6 h 30 à 9 h 30) et du soir (de 15 h 30 à 18 h 30).

7. ANALYSE QUALITATIVE

7.1 Introduction et méthodes

L'analyse qualitative a été réalisée indépendamment de l'analyse quantitative afin de déterminer si les comptes rendus d'accidents pouvaient permettre de mieux comprendre le comportement des conducteurs aux passages à niveau. Les comptes rendus contiennent des renseignements descriptifs qui peuvent permettre de mieux comprendre les données quantitatives dans la BDEF. Comme le mandat du BST ne porte pas à proprement parler sur la sécurité routière, toute information additionnelle concernant les accidents aux passages à niveau peut servir à étayer nos questions de recherche. Les courbes des facteurs contributifs observées dans les données quantitatives reflètent certains facteurs mais pas tous. De nombreux comptes rendus dans la BDEF contiennent d'excellentes descriptions des comportements connus des conducteurs qui contribuent aux accidents aux passages à niveau. À partir de ces comptes rendus, plusieurs catégories d'erreurs ont été établies en fonction des comportements contributifs et des conditions qui, jumelées aux caractéristiques des conducteurs, étaient susceptibles de causer des accidents. Une analyse qualitative des comptes rendus a permis d'obtenir des résultats intéressants relativement aux appareils utilisés dans le véhicule, par exemple les téléphones cellulaires (Goodman et al., 1999), et à la distraction du conducteur (Stutts et al., 2001; Wierwille et Tijerina, 1996). À notre connaissance, cette méthode n'a jamais été appliquée aux accidents aux passages à niveau. Des mots clés sont utilisés pour interroger la BDEF, et les cas sont examinés afin de déterminer si des facteurs communs sont en cause.

L'utilisation de mots clés pour rechercher les cas comportant un contributeur spécifique ne garantira pas nécessairement que tous les cas d'un type en particulier seront trouvés. Les conclusions en ce qui touche le tri des types de comptes rendus doivent donc être interprétées avec prudence. La valeur des échantillons de comptes rendus réside dans le fait que les prototypes de descriptions d'accidents obtenus correspondent aux descripteurs causaux généralement utilisés. On obtient ainsi une riche description qui est conforme aux recherches antérieures et aux attentes.

Les accidents recensés dans la BDEF couvrent une période de 19 ans, et ce, bien que le BST n'ait été créé qu'en 1990. Par conséquent, les données d'avant 1990 diffèrent considérablement de celles colligées avant 1990. Par exemple, la plupart des comptes rendus d'accidents ne sont qu'une courte description de l'incident : «Ne s'est pas arrêté» ou «A contourné les barrières». Dans les 3 722 comptes rendus recensés de 1983 à 1989, la description «Ne s'est pas arrêté» est la plus fréquente (N = 409). Le comportement «A contourné les barrières» est également cité fréquemment (N = 34), tout comme la catégorie «Sans objet» (s.o.) (N = 1 307). Les données de la BDEF reflètent la différence dans la collecte de données avant la mise en place du BST.

Après 1990, les comptes rendus comportent quelques phrases et leur qualité s'accroît. En outre, la description des incidents semble davantage tenir compte du comportement du conducteur. Les termes «préoccupé» (N = 38), «distrait/distraction» (N = 12) et «inattentif/inattention» (N = 58) apparaissent entre 1989 et 1992. Par exemple, dans un compte rendu on peut lire «préoccupé, le conducteur ne s'est pas arrêté», et dans un autre «distraction, le conducteur n'a pas vu les clignotants». L'objet de l'inattention, par exemple le passager, n'est pas toujours mentionné.

Afin de mieux comprendre tous les facteurs en cause dans les accidents aux passages à niveau, le BST a ajouté la section risques/comportements imprudents dans ses rapports après 1999 afin de permettre l'application des catégories de causes les plus utiles. La cause probable (pourquoi) d'un accident peut être consignée au dossier, par exemple dans la section des risques. Des mots clés ont été tirés de la documentation et ont été contrôlés dans la BDEF, et une liste révisée a été utilisée pour les recherches finales.

Des comptes rendus ont été tirés des 7 776 incidents recensés dans la BDEF (à partir du 7 novembre 2001). Une recherche par mot clé a été réalisée à partir des grandes catégories, soit distraction, intentionnalité, visibilité/conditions météorologiques, décès, deuxième train, alcool et intersection. Des 7 776 accidents recensés dans la BDEF, 6 402 comportaient un compte rendu. Des 1 374 accidents sans compte rendu, 1 307 dataient de 1983 à 1989, et les 67 autres dataient de 1990 à 2001. Le manque de détails dans les comptes rendus d'avant 1990 a grandement compliqué l'analyse. Des comptes rendus de 1990 à 2001 (N = 3 990) ont donc été utilisés pour réaliser l'analyse qualitative. Un certain nombre de méthodes ont été utilisées pour produire la

liste finale des mots clés, dont notamment des recherches dans le texte, la consultation de documents connexes et la consultation de dictionnaires de synonymes. Il s'agissait d'utiliser le plus grand nombre de mots possible qui permettaient de trouver les cas qui correspondaient bien à la sous-catégorie (Landauer, 1991). Un bon nombre des comptes rendus obtenus étaient des descriptions incomplètes des événements. Dans bien des cas, des facteurs multiples figuraient dans les descriptions. La fréquence des accidents dans une catégorie quelconque ne représente pas nécessairement la répartition des accidents aux passages à niveau.

7.2 Accidents liés à des gestes intentionnels

Lors d'un accident à un passage à niveau, lorsque le conducteur ignore les signaux et la signalisation, souvent pour devancer le train, ce geste peut être interprété comme une infraction intentionnelle (Reason, 1997). Le contournement des barrières, le contournement des voitures arrêtées au passage et les tentatives de suicides constituent des infractions intentionnelles. Il n'est pas certain que la vitesse dans de mauvaises conditions météorologiques et routières ou l'omission de s'arrêter aux signaux ou aux feux de circulation constituent toujours des gestes intentionnels (voir Dennett, 1995; Reason, 1993). Le tableau 7.1 présente un résumé des recherches de gestes intentionnels dans la BDEF à l'aide de mots clés.

Tableau 7.1 Gestes intentionnels, nombre de comptes rendus pour chaque type et extraits de compte rendu
Dossiers dépouillés de 1990 au 7 novembre 2001 (N = 3 990)

Type d'intention	Nombre de comptes rendus trouvés	Extrait de compte rendu [a, b]
A contourné les barrières	35	Le train a heurté le devant d'un véhicule qui se dirigeait vers le nord à un passage à niveau doté de feux clignotants, d'une sonnerie et de barrières. Le rapport de la compagnie de chemin de fer indique que le véhicule était entré dans la voie sud pour passer les barrières.
A tenté de devancer le train	16	La GRC a signalé que le conducteur du camion gros porteur suivait un véhicule qui le menait à l'endroit où il devait décharger des billots... Le premier véhicule a franchi le passage et s'est arrêté alors que le camion a ralenti et a ensuite accéléré pour tenter de devancer le train.
S'est arrêté et a ensuite avancé	10	L'équipe du train a noté qu'un camion de grains était arrêté au passage et qu'à la dernière minute, il a tenté de franchir le passage à niveau public.
A contourné les véhicules déjà arrêtés au passage à niveau ou qui ralentissaient	10	Ne s'est pas arrêté. Le conducteur d'un véhicule en direction sud est passé à droite (mauvais côté) de trois véhicules arrêtés pour laisser passer le train. Le véhicule en défaut a heurté le coin avant droit du train. Le conducteur a été légèrement blessé.
Alcool	5	La police a déclaré que le conducteur avait consommé de l'alcool et que son permis était suspendu en raison d'une infraction antérieure. L'équipe avait manuellement protégé le passage, fait monter l'assistant et était presque rendue à la fin du passage lorsque le véhicule a heurté le côté du train.
A contourné les véhicules arrêtés et les barrières	4	Les responsables de la compagnie de chemin de fer ont déclaré que le véhicule avait contourné deux véhicules arrêtés et les barrières, qui étaient abaissées, puis a été heurté par le train.
A ralenti, puis a continué	3	Ne s'est pas arrêté. Raison inconnue... Le conducteur a ralenti puis a poursuivi sa route.
Fatigue	3	La conductrice avait travaillé tard et était très fatiguée lorsqu'elle est arrivée au passage et a arrêté sa voiture. Elle s'est peut-être assoupie un moment et réveillée soudainement. Elle ne s'est pas rendue compte que le train était toujours dans le passage et que les barrières étaient abaissées lorsqu'elle a fait avancer sa voiture et a heurté le côté du train.

a) Le cas échéant, seule la section pertinente du compte rendu portant sur le comportement du conducteur est retenue.

b) Exception faite de ce qui pouvait identifier les personnes, les comptes rendus ont été reproduits tels qu'ils figurent dans la BDEF (les fautes d'orthographe ont été corrigées).

7.2.1 A contourné les barrières

Contourner une barrière ou d'autres véhicules pour franchir la voie ferrée est évidemment un geste intentionnel. «A contourné les barrières» est l'un des principaux types de comportements recensés dans les comptes rendus de 1983 à 1989 et il figure dans l'ensemble de la BDEF. Rappelons que ces comptes rendus sont plutôt succincts. Dans le cas des accidents survenus entre 1990 et le 7 novembre 2001, l'expression «A contourné les barrières» fait partie d'une description de ce que le conducteur a fait au passage à niveau dans 35 cas. Quatre cas font état de conducteurs qui ont contourné des voitures déjà arrêtées puis les barrières. Il s'agit là d'infractions remarquablement audacieuses, car les barrières indiquent généralement la présence d'un train. Cependant, dans un cas d'accident (non compris dans les 35), le conducteur a contourné les barrières parce qu'elles semblaient mal fonctionner. Le conducteur était las d'attendre que les barrières lèvent après le passage du train et a décidé de les contourner, mais il ne s'est pas rendu compte qu'un deuxième train approchait. Il s'agit là d'un mauvais jugement de la part du conducteur et d'un cas de collision avec un deuxième train que les conducteurs et les piétons ne s'attendaient généralement pas de voir arriver.

7.2.2 A tenté de devancer le train

La catégorie «A tenté de devancer le train» figure dans toutes les périodes dans la BDEF. Pour la période de 1990 à 2001, 16 cas de ce type ont été recensés. Dans quelques-uns de ces cas, des témoins ont déclaré qu'un véhicule avait ralenti, puis avait accéléré pour tenter de franchir les voies avant que le train atteigne le passage à niveau. D'après les mots clés et l'interprétation des comptes rendus, 10 cas ont été recensés où le conducteur «s'est arrêté, puis a franchi les voies» et trois cas où le conducteur «a ralenti, puis a franchi les voies». Par exemple, un conducteur qui s'arrête puis franchit la voie directement devant le train tente peut-être de se suicider, ou alors il n'aura pas vu le train du tout. Dans certains cas où le compte rendu précise que le conducteur tentait de devancer le train, il est également précisé que le conducteur a ralenti et a par la suite accéléré. Des études par observation ont permis de constater que les conducteurs ont tendance à ralentir à l'approche d'un passage à niveau (Moon et Coleman, 1999; Ward et Wilde, 1995b), peut-être pour vérifier si un train approche. D'autres facteurs de perception peuvent nuire à la capacité du conducteur de voir le train, et ce, même s'il a ralenti pour vérifier si la voie était

libre. Pour pouvoir faire la différence entre les catégories «A tenté de devancer le train» et «A ralenti, puis a franchi les voies», il faut déterminer si le conducteur a posé un geste intentionnel ou «N'a pas vu le train». Cependant, étant donné le nombre d'études qui recensent les infractions aux passages à niveau (par exemple, Abraham et al., 1998) et consignent les intentions des conducteurs, on peut probablement conclure que dans au moins quelques-uns de ces 29 cas, il y a eu un geste intentionnel.

7.2.3 A contourné les véhicules déjà arrêtés au passage à niveau ou qui ralentissaient

Dans 10 cas, le compte rendu indique que le conducteur a contourné des véhicules arrêtés ou qui ralentissaient à un passage à niveau sans barrière. Encore ici, la nature intentionnelle de ces gestes permet de conclure à un infraction intentionnelle. Tout comme c'est le cas dans la catégorie «A contourné les barrières», les conducteurs qui contournent des véhicules arrêtés à un passage à niveau empruntent parfois pour ce faire la voie en sens inverse d'une rue ou d'une route.

7.2.4 Incidents liés à l'alcool

Seuls 5 comptes rendus mentionnaient que l'alcool avait été un facteur contributif entre 1990 et le 7 novembre 2001. Il y en avait cependant 39 entre 1983 et 1989. L'absence de référence aux accidents liés à l'alcool après 1990 témoigne peut-être du fait qu'il y a un champ dans la section des risques de la BDEF dans lequel l'enquêteur peut noter si l'alcool était en cause ou non. Selon la section des risques, 16 accidents étaient attribués à l'alcool entre 1998 et 2001. Un nombre limité d'incidents liés à l'alcool ou aux drogues figurent dans les tabulations de la FRA (2001). Les accidents liés à l'alcool sont plus nombreux la nuit (Moskowitz, 2002). Les accidents aux passages à niveau sont plus nombreux le jour. Cependant, étant donné que l'alcool était en cause dans environ 40 % des accidents mortels de la circulation (Evans, 1991), les observateurs s'attendaient à ce que la fréquence des descriptions de comptes rendus soit plus élevée.

7.2.5 Incidents liés à la fatigue

La recherche par mots clés n'a permis de trouver que trois cas liés à la fatigue de 1990 à 2001. Selon deux comptes rendus, il est précisé que les véhicules étaient arrêtés au passage à niveau et que le conducteur semblait dormir. La fatigue est considérée comme un important facteur contributif des accidents de véhicule (Brown, 1994). Cependant, il est difficile de dire si elle est en cause lorsqu'un accident survient (Brown, 1995; Smiley, 2002). L'inclusion de la fatigue dans la section des gestes intentionnels est pertinente car de nombreux conducteurs savent souvent qu'ils sont fatigués mais continuent de conduire quand même. Par conséquent, bien que les conducteurs n'aient pas l'intention manifeste de commettre une infraction, le fait de rater des signaux ou de ne pas voir un train en raison de la fatigue n'en implique pas moins un certain degré d'intention. Le compte rendu qui définit le mieux la fatigue lors d'un accident à un passage à niveau est celui dans lequel une femme venait juste de terminer son quart de nuit. Elle a arrêté sa voiture au passage et s'est ensuite assoupie au volant. Lorsqu'elle s'est réveillée, elle n'a pas vu que les barrières étaient toujours abaissées et que le train était toujours dans le passage et elle a démarré et heurté le côté du train. Elle était probablement désorientée lorsqu'elle s'est éveillée.

7.3 Accidents liés aux distractions

En raison de l'utilisation répandue du téléphone cellulaire au volant, la distraction du conducteur et son lien avec les accidents est l'objet de nombreux rapports dans les médias et est la cause de nombreux accidents tragiques. De même, la distraction est fréquemment citée comme un facteur contributif d'un certain pourcentage d'accidents aux passages à niveau. Dans une étude récente, la distraction du conducteur a été citée comme la cause probable dans 12 (20 %) des 60 cas examinés (NTSB, 1998a). La recherche par mots clés a révélé que 39 accidents étaient attribuables à une distraction. Des variantes de la distraction ont également été l'objet d'une recherche. Les termes «préoccupé», «distrait» ou «inattentif» apparaissent fréquemment de 1989 à 1992. Cependant, ce qui a distrait le conducteur n'est pas toujours précisé dans le compte rendu. Les comptes rendus qui comportaient les termes «préoccupé», «distrait» et «inattentif», mais qui ne précisaient pas la cause de la distraction, ont été exclus de cette section. Les comptes rendus examinés ici datent de 1990 ou après. Des comptes rendus de chaque catégorie et les fréquences pour 1990 à 2001 figurent au tableau 6.3. Afin d'éviter d'inclure des éléments dans

une seule catégorie, des recherches de comptes rendus ont été effectuées. Inclure les accidents dans une seule catégorie n'aurait aucun sens si les causes sont multiples. Des déterminants multiples sont fréquemment décrits dans les comptes rendus.

7.3.1 N'a pas vu du tout le train ou les signaux

Dix comptes rendus précisent que le conducteur n'a pas du tout vu le train avant de le heurter. Ces cas ont été classés selon la description «N'a pas du tout vu le train ou les signaux», et ce, même si quelques-uns d'entre eux comportaient les termes «préoccupé» ou «distrait». La raison pour laquelle ces cas ont été inclus dans cette catégorie plutôt que de les omettre ou de les inclure dans une catégorie générale de distraction (par exemple, préoccupé), c'est que ces comptes rendus ne font pas état de la raison pour laquelle les conducteurs étaient «préoccupés». Tout comme pour la catégorie détection tardive, huit des dix accidents sont survenus à un passage à niveau non automatisé. Les deux autres sont survenus à un passage à niveau doté de feux clignotants et d'une sonnerie, mais pas de barrières.

Plusieurs caractéristiques physiques et perceptives empêchent les conducteurs de détecter les trains aux passages à niveau non automatisés. Celles-ci comprennent notamment la distance de visibilité le long de la voie à partir de la route, l'angle de l'intersection et la courbe de la route ou de la voie (NTSB, 1998a). En outre, les objets présents dans les environs, par exemple les autres véhicules, les panneaux de signalisation autres que la signalisation du passage à niveau, la végétation et les immeubles, peuvent obstruer la vue du conducteur ou le distraire (Lerner et al., 1990).

7.3.2 A vu le train trop tard pour s'arrêter

Dans les neuf comptes rendus de la catégorie «A vu le train trop tard pour s'arrêter», les conducteurs ont déclaré qu'ils n'avaient pas vu le train à temps pour s'arrêter. À l'instar d'autres incidents, il est difficile de savoir pourquoi les conducteurs ont vu le train trop tard pour s'arrêter. Huit des neuf collisions dans lesquelles le conducteur «A vu le train trop tard pour s'arrêter» sont survenus à un passage à niveau non automatisé. Il n'est pas précisé si les conducteurs ont vu la signalisation avancée de passage à niveau.

Tableau 7.2 Types de distraction, nombre de comptes rendus pour chaque type et extraits de compte rendu
Examen des dossiers de 1990 au 7 novembre 2001 (N = 3 990)

Type de distraction	Nombre de comptes rendus trouvés	Extrait de compte rendu [a, b]
N'a pas du tout vu les signaux et le train (aucune explication)	12	Un train en direction ouest a heurté un véhicule à un passage à niveau public doté de signaux lumineux et d'une sonnerie. ... Le conducteur a déclaré à la GRC qu'il n'avait pas vu les dispositifs de protection et n'avait pas tenté de s'arrêter.
A vu le train trop tard pour s'arrêter (détection en retard)	9	L'équipe du train a déclaré qu'un véhicule avait heurté le côté d'une locomotive à un passage à niveau doté de panneaux standard réfléchissants. ... La police a déclaré que le conducteur du véhicule n'a vu le train qu'à la dernière minute et a tenté de s'arrêter, puis a glissé sur une distance de 12 pieds avant de heurter la locomotive.
Parlait au téléphone cellulaire	7	Alors qu'il roulait en direction est, le train XX-XXX a été heurté à un passage à niveau doté de panneaux standard réfléchissants par un camion gros porteur circulant en direction sud. Le conducteur a été blessé mortellement. Aucune marchandise dangereuse en cause. Aucun déraillement. Dommages signalés sur 2 locomotives. Le camion a heurté le côté gauche avant de la première locomotive. Il y a eu une petite explosion et la cabine du camion a été engloutie par les flammes. Il n'y avait pas de marque de dérapage. Le conducteur utilisait un téléphone cellulaire pour obtenir des renseignements d'un conducteur qui le précédait sur l'endroit où il devait prendre un chargement de pois dans sa semi-remorque et sa mini-remorque.
Distraction interne (processus cognitif; par exemple, inquiétude, préoccupation)	4	Le véhicule roulait en direction est sur le chemin parallèle à la voie du côté sud. La conductrice ne s'est pas arrêtée à l'intersection comme l'exigeait le panneau d'arrêt, mais a tourné à gauche, s'est engagée dans le passage à niveau et a été heurtée par le train à la hauteur de la porte du côté gauche. Un témoin a entendu le train siffler, et elle a vu la conductrice regarder vers la côte au nord, puis vers le sud avant de tourner au nord et de s'engager sur la voie. Ils étaient en retard pour un défilé. La conductrice habitait à deux pâtés de maisons du passage à niveau.
Parlait avec les passagers	3	Parlait au passager et aux enfants qui faisaient beaucoup de bruit sur la banquette arrière.
Distraction externe (événement ou objets à l'extérieur du véhicule)	3	Manque d'attention – Le mécanicien a noté une machine à botteler sur la route en direction est arrêtée dans la bande centrale en attendant le passage de la circulation en direction ouest. Lorsque la voie a été libre, le conducteur a démarré et a heurté le côté sud du train. Le conducteur a subi des blessures graves.
Radio/lecteur	1	Le véhicule circulait en direction nord et le conducteur n'a pas tenté de s'arrêter et n'a pas vu le dispositif automatique en raison du soleil qui masquait la lentille des feux. Sa radio jouait et les vitres étaient fermées. Il tentait d'arrêter son lecteur pour mettre la radio afin d'écouter une émission-débat.

a) Le cas échéant, seule la section pertinente du compte rendu portant sur le comportement du conducteur est retenue.
b) Exception faite de ce qui pouvait identifier les personnes, les comptes rendus ont été reproduits tels qu'ils figurent dans la BDEF (les fautes d'orthographe ont été corrigées).

7.3.3 Téléphones cellulaires

Sept cas où un téléphone cellulaire était en cause ont été trouvés. Un seul compte rendu indique que la teneur de la conversation était un facteur contributif possible. Le compte rendu figure au tableau 7.2. Apparemment, le conducteur du camion recevait des directives d'un autre conducteur alors qu'il roulait dans une zone avec laquelle il n'était pas familiarisé. Absorbé par la conversation, le conducteur n'a peut-être pas pu voir le train approcher ou la SAPN. L'absence de marque de dérapage suggère qu'il n'a peut-être pas vu le train du tout et qu'il n'a pas tenté de s'arrêter. Un poste bande publique était en cause dans un incident, une situation qui est quelque peu analogue à celle du téléphone cellulaire.

7.3.4 Distraction interne

Il s'agit ici d'une distraction causée par des processus cognitifs, dont par exemple la rêverie, l'inquiétude ou l'excitation provoquée par un événement quelconque (Wigglesworth, 1979). La recherche de comptes rendus a révélé quatre exemples de distraction interne. Dans le premier cas, alors qu'une conductrice était arrêtée au passage à niveau, elle ne s'est pas rendue compte qu'elle avait lâché le frein et la voiture a heurté le côté du train. Dans le deuxième cas, qui est assez similaire à celui cité par Wigglesworth (1979), une mère conduisait son enfant malade à l'hôpital lorsque l'accident s'est produit. L'exemple de Wigglesworth est celui d'une mère qui rentrait à la maison pour prendre soin de ses autres enfants après avoir passé la journée à l'hôpital avec sa fille blessée. Dans le troisième cas, une voiture est passée devant un train après que le conducteur ait eu une altercation avec le commis d'un magasin. Apparemment, le conducteur a contourné les barrières activées alors qu'un train était arrêté sur la voie rapprochée. Les barrières n'étaient pas activées pour ce train, mais pour un train qui approchait sur une autre voie derrière le train arrêté. Cet autre train a heurté la voiture et blessé mortellement le conducteur. Le conducteur étant décédé dans l'accident, il serait imprudent de conclure que son état mental l'a poussé à contourner les barrières. Des témoins, qui ne connaissaient pas nécessairement l'intention du conducteur, ont relaté l'accident. Dans le dernier cas, un véhicule avec quatre personnes à bord (deux adultes et deux enfants) a omis de s'arrêter au panneau d'arrêt avant le passage à niveau et a tourné à droite juste devant le train. Le conducteur habitait à deux pâtés de maison et le groupe était en retard pour un défilé en ville.

Ce dernier accident comporte un certain nombre de facteurs communs qui contribuent aux accidents aux passages à niveau. Premièrement, le conducteur a pu être distrait par la conversation entre les trois passagers. Deuxièmement, le conducteur pouvait être préoccupé par sa volonté d'arriver au défilé à temps. Troisièmement, bien connaître un passage à niveau ne réduit pas les risques d'accident, surtout si les trains n'y circulent pas régulièrement (Wigglesworth, 1979; NTSB, 1998a). Enfin, le conducteur devait s'arrêter au panneau d'arrêt avant de tourner pour franchir les voies. Le conducteur regardait peut-être à gauche au lieu de vérifier si un train arrivait sur la voie ferrée. Or, il ne s'est pas arrêté au panneau d'arrêt, et cette infraction a pu accaparer son attention et lui faire oublier le passage à niveau. Ajoutées aux autres erreurs commises par les conducteurs, les infractions mènent tout droit à la catastrophe (Reason, 1997). De façon générale, l'importance relative de ces quatre facteurs, pris isolément ou ensemble, est difficile à évaluer car le conducteur est décédé.

7.3.5 Conversation avec les passagers

La recherche a permis de trouver trois comptes rendus qui suggèrent que la conversation avec les passagers constitue une distraction. De multiples facteurs cités dans deux comptes rendus peuvent en effet constituer des facteurs contributifs possibles. Dans un de ces accidents, où les passagers étaient en conversation et la radio jouait, le conducteur ne s'est pas arrêté au panneau d'arrêt. Dans l'autre cas de multiples distractions, le conducteur parlait avec le passager et les enfants faisaient beaucoup de bruit sur la banquette arrière.

7.3.6 Distraction externe

Il y a distraction externe lorsque des objets ou des événements à l'extérieur du véhicule distraient le conducteur (Treat et al., 1979). Trois comptes rendus ont été trouvés dans cette catégorie. Dans le premier cas, le conducteur a été distrait par un autre véhicule. Dans le deuxième, le conducteur attendait dans la voie centrale d'une route que des voitures passent. Lorsqu'elles furent passées, il a traversé la rue et a heurté le côté du train. Dans le troisième cas, le conducteur regardait les voitures arriver en sens inverse lorsque le train a heurté son véhicule. On ne peut dire exactement quelles manoeuvres (par exemple, un virage) les conducteurs tentaient d'effectuer lorsqu'ils se sont engagés dans le passage.

7.3.7 Dispositif à l'intérieur du véhicule

Un seul compte rendu a été trouvé où l'utilisation d'un dispositif à l'intérieur du véhicule (autre qu'un téléphone cellulaire) a été mentionné comme cause possible de l'accident. Dans ce cas, le conducteur tentait de fermer son lecteur de cassette pour écouter une émission-débat à la radio. En plus de manipuler la radio, il roulait dans le soleil, ce qui l'empêchait de voir les feux clignotants. En outre, les vitres étaient fermées, ce qui a pu l'empêcher d'entendre le sifflement du train. Les causes multiples d'accidents sont un thème récurrent.

7.4 Problèmes de visibilité

Bien que les questions de visibilité ne semblent pas liées directement au comportement du conducteur à un passage à niveau, on peut déduire certaines causes d'accident en comprenant dans quelle mesure la visibilité des voies à partir de la route peut nuire à la capacité du conducteur de détecter la présence d'un train. Les conditions météorologiques, par exemple le brouillard, l'éblouissement par le soleil et la poudrerie, peuvent cacher le train ou réduire la distance à laquelle il peut être vu à temps pour arrêter. Dans certains cas, il peut être pertinent de se demander si le conducteur roulait trop vite dans les circonstances.

7.4.1 Brouillard

Dans 25 comptes rendus de 1990 à 2001, le brouillard a été cité comme cause probable d'un accident. Aucun de ces comptes rendus n'indique cependant si le conducteur roulait trop vite pour les conditions météorologiques. Dans 17 de ces 25 cas, le véhicule a heurté le côté du train, alors que dans trois autres cas, c'est le train qui a heurté le véhicule. Dans les cinq autres cas, il n'est pas précisé si c'est le train qui a heurté le véhicule ou si c'est l'inverse. Dix-sept des accidents sont survenus alors qu'il faisait nuit. La noirceur et le brouillard ont fort probablement réduit la visibilité du train, mais l'importance des conditions est relative. Par exemple, un enquêteur peut parler de «brouillard épais» alors qu'un autre parlera de «temps brumeux». Le terme «épais» dans le premier cas ne permet pas de bien faire la différence avec le «temps brumeux» du second. Pour certain, la notion de «brouillard», comme la notion de «neige» peut être finement différenciée. Or, ces adjectifs ne semblent pas avoir trouvé leur place dans les

comptes rendus, et s'ils l'avaient trouvée, combien d'interprétations subtiles faudrait-il pour décrire un accident?

Selon une enquête poussée du BST, une collision entre un camion à benne et un train transportant des marchandises dangereuses est survenue en Alberta alors qu'il y avait un brouillard épais (BST, 1995, décembre). Trente-quatre wagons ont déraillé et trois wagons-citernes ont été percés, ce qui a provoqué la fuite de 30 000 gallons de carburant diesel. Un autre camion à benne de la même entreprise a heurté le 48e wagon du train et l'a fait dérailler environ dix minutes après la première collision. Un autobus scolaire vide a dû prendre le fossé pour éviter de heurter le second camion. Les signaux du passage à niveau ont été détruits par le premier camion. Les deux conducteurs de camion ont subi de légères blessures, et six maisons situées tout près ont été évacuées. Le brouillard avait réduit la visibilité à environ 10 m (33 pieds) et avait favorisé la formation de glace sur la chaussée. Aucun des conducteurs n'a vu la SAPN en raison du brouillard, et le premier conducteur n'a vu les feux clignotants que lorsqu'il était très près.

Un accident similaire avait été l'objet d'une enquête du BST à Highgate, en Saskatchewan (BST, 1994, mars). Dans le brouillard épais du matin, un camion tirant une remorque à bestiaux a heurté un train et l'a fait dérailler. Le train arrêté a été heurté de nouveau par un camion gros porteur, ce qui a fait dérailler un autre wagon. Deux occupants sont décédés et quatre ont exigé des soins médicaux. Le brouillard était fréquent dans la région. Le passage à niveau était doté de feux clignotants et d'une sonnerie suspendue à un poteau au-dessus de la route, de même que d'une SAPN. Les autorités routières et la compagnie de chemin de fer ont installé des feux automatisés munis de lentilles de 30 cm (la norme est de 20 cm).

7.4.2 Soleil

L'éblouissement par le soleil pose un problème aux conducteurs à un passage à niveau. De 1990 à 2001, 21 comptes rendus mettent en cause l'éblouissement par le soleil. Trois de ces incidents sont survenus au coucher du soleil et trois au lever du soleil. Dans 15 des cas, l'éblouissement était dû à un autre facteur (par exemple, le reflet provenant de la chaussée), ou le conducteur a

simplement déclaré qu'il avait le soleil dans les yeux. L'éblouissement peut empêcher de voir les croix d'avertissement et les feux clignotants (Mortimer, 1988).

7.4.3 Lignes de visibilité

À l'approche d'un train, le conducteur peut avoir la vue obstruée pour diverses raisons. Les problèmes liés à la ligne de visibilité peuvent concerner la distance de visibilité à partir de la route, l'angle d'intersection de la route et de la voie ferrée ainsi que la courbe de la voie ferrée (NTSB, 1986; 1998a). En outre, la vue du conducteur peut être obstruée ou détournée en raison, par exemple, d'autres véhicules, de panneaux de signalisation autre que ceux du passage à niveau, de la végétation ou des immeubles (Lerner et al., 1990; NTSB, 1998a).

On peut trouver à divers endroits dans la BDEF des données sur la visibilité de la voie à partir de la route. Premièrement, la visibilité est classée selon qu'elle est «faible», «passable» ou «bonne». Deuxièmement, l'angle du passage à niveau est noté dans un autre champ et est souvent le plus petit angle et non l'angle de l'accident. Troisièmement, les types de structures qui obstruaient la vue (par exemple, les maisons, la végétation) sont notés dans un autre champ. Les recherches dans les comptes rendus à partir des problèmes de visibilité pourraient en dire davantage sur la nature des problèmes, car les données quantitatives sont limitées à la classification «faible», «passable» et «bonne» et aux angles d'intersection estimés.

La recherche de 1990 à 2001 n'a guère permis d'obtenir d'information additionnelle concernant les problèmes de visibilité. Seulement 10 cas liés à ces problèmes ont été recensés. Par exemple, dans un cas il est question de «visibilité extrêmement faible», et dans un autre de «visibilité grandement obstruée à partir du sud». Il s'agit là d'accidents survenus antérieurement et dont les champs ne comportent aucune information additionnelle. Dans un compte rendu de 1997, on peut lire : «...en raison de l'angle du passage à niveau, les occupants n'ont pas vu ni entendu le train». Dans ce compte rendu, il est précisé que l'angle estimé est de 30 degrés, ce qui indique que le conducteur devait regarder au-dessus de son épaule pour voir le train qui approchait. L'angle du passage à niveau est précisé dans deux comptes rendus : l'un était de 4 degrés et un

autre était de 45 degrés. Enfin, trois comptes rendus précisaient que la neige entassée sur le bord de la route obstruait la vue.

Dans un certain nombre de rapports d'accidents du BST, il est question de passages à niveau dont la visibilité était restreinte et de conducteurs qui n'ont pas vu le train approcher (par exemple, voir BST, 1991a, janvier; BST, 1991b, janvier; BST, 1993, septembre). Dans un cas, cependant, le conducteur ne semble même pas avoir noté la SAPN ni les indications l'invitant à réduire sa vitesse à 20 km/h (BST, 1991a, janvier). Les feux et la sonnerie étaient activés et visibles. Le train a sifflé et son phare avant était allumé. Selon les mécaniciens, le conducteur n'a jamais tenté de ralentir ou de s'arrêter, et il a été heurté à mort. Il ne semble pas y avoir de raisons pour expliquer que le train ne s'est pas arrêté. Dans un cas, une pile de linge sur la banquette du passager obstruait la vue du conducteur (BST, 1991b, janvier). Le conducteur n'a pas réagi à la SAPN, aux feux du passage ou à l'approche du train, et il a été heurté à mort. Dans un autre cas, six occupants d'un véhicule ont été heurtés et blessés mortellement à environ 18 h 01, le 4 septembre 1993 en Ontario. La vue du train était obstruée par des broussailles et des petits arbres. Le conducteur roulait face au soleil en direction ouest. Un panneau d'arrêt était installé au passage à niveau, mais était obstrué par des poteaux de téléphone jusqu'à 200 m du passage. Le sang du conducteur contenait de l'alcool et du THC. Le degré d'alcool correspondait à une consommation alors que le degré de THC était suffisant pour affaiblir les facultés du conducteur. L'alcool et le THC sont considérés comme des facteurs ayant contribué à l'incapacité du conducteur d'éviter le train.

7.4.4 Neige

La neige peut tomber toute l'année dans certaines régions du Canada. Un temps neigeux peut empêcher un conducteur de voir un train qui approche. Huit comptes rendus d'incidents font état de poudrerie ou de tempêtes de neige ayant réduit la visibilité. Il n'est cependant pas toujours précisé si le conducteur a ralenti ou s'il a adopté un comportement approprié aux conditions météorologiques. Ne pas réduire sa vitesse lorsqu'il y a de la neige ou du brouillard constitue un facteur qui contribue souvent aux accidents.

7.5 Accidents ferroviaires qui surviennent près d'une intersection routière

Lorsqu'une intersection routière est située près d'un passage à niveau, le conducteur peut être distrait lorsqu'il négocie l'intersection et ne pas voir le passage à niveau (Bremer et Ward, 1997; Wigglesworth, 1979). Une recherche par mots clés dans les comptes rendus a été utilisée afin de déterminer si ce scénario d'accident pouvait être recensé. De 1990 à 2001, 31 accidents sont survenus, en partie en raison de la proximité d'une autre intersection. La catégorie la plus simple à comprendre est sans doute celle où le conducteur est arrêté sur la voie ferrée parce que les véhicules devant sont arrêtés à une intersection. La présence de véhicules derrière le conducteur fait en sorte que ce dernier est coincé sur la voie. Les comptes rendus ont permis de recenser 14 cas de circulation arrêtée sur la voie. La façon la plus simple d'éviter ce genre de situation, c'est simplement de ne pas s'engager sur la voie ferrée à moins d'être certain qu'il y a suffisamment d'espace de l'autre côté pour libérer la voie. Des SAPN appropriées, par exemple l'interconnexion avec les systèmes d'avertissement et les signaux, et les panneaux «Laisser la voie libre», sont nécessaires dans ce genre de scénario. Ce comportement est analogue à celui où le conducteur s'engage dans une intersection routière même s'il n'y a pas suffisamment d'espace pour la libérer parce que la circulation est arrêtée devant.

Six cas ont été recensés où le conducteur a tourné à gauche et onze où il a tourné à droite à partir d'un panneau d'arrêt ou d'un feu de circulation et s'est ensuite engagé dans un passage à niveau sans regarder s'il y avait un train. Comme il faut un degré d'attention élevé pour négocier les intersections, le conducteur peut concentrer sont attention sur son virage à gauche ou à droite et ensuite omettre de bien regarder avant de s'engager dans le passage à niveau. Dans le cas d'un virage à droite, le conducteur peut regarder à gauche, à l'opposé du passage, et ne regarder la voie ferrée que lorsqu'il a terminé son virage. Dans le cas d'un virage à gauche, le conducteur peut regarder la circulation en sens inverse, alors que le train approche par derrière sur une voie parallèle à la route.

Deux agents de police ont été heurtés et blessés mortellement parce qu'ils n'ont pas réagi aux SAPN et aux FCS le 24 octobre 1993 (BST, 1993, octobre). Avant leur collision, ils devaient tourner à gauche à une intersection sans signalisation et ensuite franchir un passage à niveau un

pâté de maisons plus loin. Les feux clignotants du passage à niveau automatisé n'étaient pas suffisamment visibles pour le conducteur qui tourne à gauche. Un immeuble obstruait la ligne de visibilité du train. Un train de passager qui roulait à 108 km/h a heurté la voiture de patrouille, qui roulait entre 10 et 15 km/h. Le soleil était juste à gauche de la direction de la voiture de patrouille. Il n'a pas été déterminé si les pare-soleil de la voiture de patrouille étaient abaissés ou levés juste avant qu'elle s'engage dans le passage à niveau. S'ils étaient abaissés, ils auraient obstrué les feux clignotants jusqu'à ce que la voiture de patrouille s'engage dans le passage à niveau. Les feux d'arrêts de la voiture de patrouille ne se sont jamais allumés et personne n'a vu les agents regarder en direction du train. Les agents ne répondait à aucun appel d'urgence. Le BST a suggéré d'ajouter des barrières au passage à niveau.

7.6 Accidents avec un deuxième train et sur voies multiples

Dans ce genre d'accident, un train passe dans une direction et le conducteur décide de franchir la voie ferrée et est heurté par un deuxième train qui suit le premier, ou qui roule sur une autre voie dans le sens opposé. Dans ce dernier cas, le premier train cache le deuxième. Dans le premier cas, le conducteur ne s'attend pas à l'arrivée d'un deuxième train sur la même voie ou sur la voie adjacente. La recherche par mots clés a permis de trouver dix comptes rendus de 1990 à 2001 qui font état de la présence d'un deuxième train. Dans six cas, le véhicule a été heurté par un train venant en sens inverse du train pour lequel le conducteur s'était arrêté. Dans deux cas, le véhicule a été heurté par un train qui suivait le premier. Dans les deux derniers cas, le sens du deuxième train n'est pas précisé.

7.7 Sommaire des analyses qualitatives

L'analyse qualitative a permis d'obtenir une description élaborée des accidents découlant d'un geste intentionnel ou d'une distraction. Cette élaboration est importante car elle permet d'étayer les analyses quantitatives et d'obtenir une description détaillée. À notre connaissance, cette méthode n'a jamais été appliquée aux accidents aux passages à niveau. Dans le cadre de cette analyse, 3 990 comptes rendus recensés du 1er janvier 1990 au 7 novembre 2001 ont été l'objet d'une recherche par mots clés.

- Parmi les 86 comptes rendus qui font état d'un geste intentionnel de la part du conducteur, ce dernier a contourné les barrières activées dans 35 cas et il a contourné les voitures arrêtées et les barrières dans 4 cas. Dans 10 cas, le conducteur a contourné les véhicules arrêtés ou qui ralentissaient à un passage à niveau muni uniquement de feux clignotants. Ce genre d'infraction est téméraire, car le conducteur doit généralement emprunter la voie de circulation en sens inverse.

- Dans 16 cas, le conducteur aurait tenté de devancer le train. Cependant, les cas où un véhicule ralentit puis poursuit sa route (10 cas) reflètent peut-être le comportement normal des conducteurs aux passages à niveau. C'est-à-dire que les conducteurs ont tendance à ralentir à l'approche d'un passage à niveau, et ceux qui tenteraient de devancer le train n'ont peut-être pas vu les feux ou les SAPN.

- Seuls cinq comptes rendus mettaient en cause l'alcool comme facteur contributif. Les chercheurs s'attendaient à trouver davantage de comptes rendus dans lesquels l'alcool était en cause dans un incident. Cependant, l'alcool peut aussi faire partie de la catégorie des risques. Trois comptes rendus mettaient en cause la fatigue comme facteur contributif.

- Trente-neuf comptes rendus ont fait état de la distraction du conducteur comme facteur contributif à un accident, et dans 21 cas, le conducteur a vu le train trop tard pour s'arrêter (10) ou n'a pas du tout vu le train ni les signaux (12).

- Dans sept comptes rendus, l'utilisation d'un téléphone cellulaire a été mis en cause comme facteur contributif.

- Quatre comptes rendus mettent en cause une distraction interne (processus cognitif, comme l'inquiétude) et trois une distraction externe (objet ou événement à l'extérieur du véhicule). Une distraction interne détourne l'attention de l'ensemble des environs, alors qu'une distraction externe détourne l'attention d'une partie importante de ces environs.

- Trois comptes rendus indiquent que le conducteur était distrait par une conversation avec des passagers et un compte rendu indique que le conducteur était distrait parce qu'il tentait de régler sa radio.

- Soixante-quatre comptes rendus font état de problèmes de visibilité au moment de l'accident, par exemple le brouillard (25), l'éblouissement par le soleil (21), l'obstruction de la ligne de visibilité (10) ou la neige (8). De façon générale, il n'est pas précisé si le conducteur roulait trop vite dans les cas où il y avait du brouillard ou de la neige.

- Trente et un comptes rendus précisent que le conducteur a dû négocier une intersection avant d'atteindre le passage à niveau. Bien que les SAPN existent au Canada pour indiquer la présence d'un passage à niveau près d'une intersection (voir la figure 2.1), les chercheurs ne savent pas si les conducteurs ignorent ces signaux, ne les comprennent pas ou ne les voient tout simplement pas. De tels accidents ont été recensés dans des études antérieures portant sur les accidents aux passages à niveau.

- Dix comptes rendus indiquent qu'un deuxième train était en cause dans un accident. Ce type d'accident survient lorsqu'un conducteur croit que la voie est libre après le passage d'un train et est heurté par un deuxième train après s'être engagé dans le passage à niveau.

- La capacité des conducteurs de voir les SAPN et les feux clignotants dans un brouillard épais est grandement restreinte. Dans les endroits où le brouillard est chose courante, l'utilisation de SAPN munies de grandes lentilles devrait être envisagée.

8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les conclusions et les recommandations suivantes visent à souligner la pertinence du présent rapport et à combler les lacunes dans la connaissance du phénomène. En particulier, les examens de la documentation existante et des données originales ont été analysés en ce qui touche les questions litigieuses et la recherche future.

1) Le but principal de ce projet consistait à analyser en profondeur les accidents survenus aux passages à niveau au Canada au cours d'une période donnée du point de vue des facteurs humains. Les analyses quantitatives et qualitatives, auxquelles s'ajoutent les caractérisations des gestes imprudents et des conditions dangereuses effectuées par le BST, fournissent un portrait approfondi et unique des accidents aux passages à niveau au Canada. Il est possible de faire des comparaisons statistiques à partir de répliques ou de prolongements de la présente étude.

2) Les comparaisons entre les données du BST et celles de la Federal Railroad Administration (FRA) des États-Unis sur les accidents aux passages à niveau pour l'année 2000 font ressortir des tendances similaires en ce qui regarde le sexe des conducteurs, le moment de la journée et les mois de l'année aux cours desquels les accidents se produisent, les types de véhicules et les types de signalisation en cause. Comme on pouvait s'y attendre, l'effet des conditions météorologiques diffère. Il n'a pas été possible de faire des comparaisons en ce qui a trait aux comportements imprudents et aux conditions dangereuses, à l'angle de la voie ferrée par rapport à la route, à l'âge des conducteurs et aux tendances à long terme.

3) L'observation du comportement des conducteurs aux passages à niveau offre un éclairage sur l'efficacité de diverses contre-mesures. Ainsi, lorsqu'un conducteur connaît bien un passage à niveau et qu'il ne s'attend pas à la présence d'un train, il se peut que sa vigilance baisse et qu'il ne se donne pas la peine de bien regarder. Les dispositifs d'avertissement automatiques qui visent à prévenir toute interaction entre les trains et les véhicules sont les plus susceptibles de réduire le nombre d'accidents, de blessures et de décès. La mise en place de

barrières d'impasse et de barrières centrales aux passages à niveau déjà munis de barrières serait une formule intéressante en raison de son excellent rapport efficacité-coût.

4) Bien que les panneaux d'arrêt soient une forme de signalisation habituelle et permanente pour les conducteurs, les statistiques de la FRA montrent que l'utilisation de ces seuls panneaux soulèvent des doutes quant à leur efficacité dans la prévention des accidents et des décès. Il est fréquent que les conducteurs passent outre aux panneaux d'arrêt aux passages à niveau. Il n'a pas été établi qu'ils auraient pour effet de diminuer le nombre d'accidents par rapport aux taux actuels. Si le Canada devait examiner la possibilité de suivre la recommandation du National Transportation Safety Board des États-Unis sur l'installation de panneaux d'arrêt, il faudrait faire des recherches plus poussées pour déterminer leur degré d'efficacité.

5) Il faudrait concevoir et évaluer l'efficacité de panneaux supplémentaires de signalisation avancée qui indiquent aux conducteurs ce qu'ils doivent faire à l'approche d'un passage à niveau. Dans certains pays (par exemple, en Australie, en Israël et au Royaume-Uni), on fournit aux conducteurs des renseignements supplémentaires comme la distance qui reste à parcourir jusqu'à un passage à niveau ou on installe des panneaux sur lesquels on inscrit «Attention aux trains» ou «Ne pas s'arrêter sur la voie ferrée». Il faudrait aussi examiner la possibilité d'installer plusieurs panneaux indicateurs, puisqu'il arrive fréquemment que les conducteurs ne prêtent pas attention à la signalisation avancée.

6) Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour mesurer l'efficacité des contre-mesures (voir par exemple Hauer et Persaud, 1986). Toutefois, l'effet net de l'application d'un large éventail de contre-mesures sur le nombre total d'accidents, de blessures et de décès ne peut être établi de manière concluante (voir à ce sujet Evans, 1985; 1991). L'intégration de plusieurs contre-mesures aux passages à niveau les plus dangereux va contribuer à accentuer la diminution des accidents, des blessures et des décès déjà réalisée. Cette diminution va toutefois se produire avec une variabilité qui fera en sorte qu'il sera difficile de l'attribuer à un programme précis de contre-mesures.

7) À première vue, le phénomène des accidents aux passages à niveau semble relativement simple, quelques facteurs contributifs intervenant pour causer ces accidents. Cependant, des recherches approfondies sur ces accidents peuvent faire ressortir d'autres facteurs, si on se demande continuellement pourquoi ils se produisent. L'analyse des causes fondamentales suppose une recherche de la cause ou des causes premières d'un accident (voir Leveson, 1995; Rasmussen, 1990; Reason, 1993). L'analyse des causes fondamentales est utile lorsque des organisations peuvent avoir une responsabilité dans un accident. Il peut exister des facteurs organisationnels contribuant aux accidents, comme un manque de coordination entre les compagnies de chemin de fer et les administrations routières en vue d'éliminer les risques à un passage à niveau donné. Il serait possible, au moyen d'une recherche ciblée sur les accidents de classe IV effectuée par le BST, de déterminer dans quelle mesure ces facteurs organisationnels interviennent dans les accidents, ce que nous ignorons actuellement.

8) Les études sur le comportement des conducteurs aux passages à niveau jumelées à l'analyse des accidents permettent d'orienter les recherches futures. En plus de permettre de connaître l'efficacité des panneaux d'arrêt et des dispositifs supplémentaires de signalisation avancée, l'efficacité des dispositifs photographiques et des feux clignotants à DEL peuvent permettre de réduire le nombre d'infractions et d'éviter que les FCS soient ignorés. On connaît peu de choses au sujet des accidents aux passages à niveau privés et du moyen le plus rentable d'accroître leur sécurité.

9) À partir des recherches actuelles, un certain nombre de recommandations peuvent être faites pour accroître la sécurité aux passages à niveau. D'abord, des critères précis doivent être définis afin de déterminer le nombre d'accidents, de blessures ou de décès requis pour justifier l'évaluation de la signalisation, des signaux et des barrières. Ensuite, des normes précises doivent être définies afin de déterminer quand des éléments automatisés doivent être ajoutés aux passages à niveau non automatisés qui posent problème. De même, des critères doivent être définis afin d'améliorer les passages à niveau dotés de barrières ou de barrières centrales. Enfin, il serait opportun de permettre aux collectivités et aux gouvernements locaux, en collaboration avec Transports Canada et les compagnies de chemin de fer, d'accélérer l'amélioration des passages à niveau qu'ils estiment dangereux. En outre, ces

critères devraient également viser les passages à niveau à problème s'ils sont utilisés par la GRC ou la police locale.

10) Il est heureux que les données contenues dans la BDEF comprenaient les accidents qui sont survenus depuis 1983. Bien que le mandat du BST consiste à promouvoir la sécurité dans les transports, il ne couvre pas explicitement la sécurité sur les routes comme le fait le NTSB aux États-Unis. Puisque dix fois plus de Canadiens meurent sur les routes que sur toute autre voie de transport, il serait opportun que le mandat du BST comprenne la sécurité routière.

11) La taxinomie des facteurs qui contribuent aux accidents aux passages à niveau permet de connaître les modèles communs qui figurent dans la documentation examinée. En outre, elle peut guider les recherches inductives et déductives sur les facteurs contributifs liés au conducteur, à l'environnement, au véhicule et aux éléments physiques. Les catégories primaires et secondaires peuvent servir à générer des hypothèses au sujet de cas particuliers et à colliger des données.

12) Transports Canada a joué un rôle de premier plan dans l'élaboration de normes et de règlements sur les passages à niveau (voir Transports Canada, 2002c). Une fois le *Manuel sur les passages à niveau* adopté, il faudra déterminer dans quelle mesure les passages à niveau existants respectent les nouvelles normes et les nouveaux règlements. Pour atteindre cet important objectif, il faudra consacrer les ressources nécessaires en ce qui touche les inspections et les modifications.

BIBLIOGRAPHIE

Åberg, L. (1988). Driver behavior at flashing-light, rail-highway crossings. *Accident Analysis and Prevention, 20* (1), 59-65.

Abraham, J., Datta, T.K., & Datta, S. (1998). Driver behavior at rail-highway crossings. *Transportation Research Record 1648*, 28-34.

Abrams, B.S. (1995). Visibility issues at rail-highway grade crossings. In J.R. Loumiet & Jungbauer (Eds.), *Train accident reconstruction and FELA & railroad litigation* (2nd Ed.) (pp. 177-208). Tucson, AZ: Lawyers and Judges Publishing.

Alexander, G.J. (1989, November). Search and perception reaction time at intersections and railroad grade crossings. *ITE Journal*, 17-20.

Berg, W. D., Fuchs, C., & Coleman, J. (1981). Evaluating the safety benefits of railroad advance warning signs. *Transportation Research Record 773*, 1-6.

Berg, W.D., Knoblauch, K., & Hucke, W. (1982). Causal factors in railroad-highway grade crossing accidents. *Transportation Research Record 847*, 47-54.

Bremer, W.F., & Ward, L.M. (1997, September). Improving grade crossing safety near highway intersections. *ITE Journal*, 24-29.

Brown, I. D. (1994). Driver fatigue. *Human factors, 36*, 219-231.

Brown, I. D. (1995). Methodological issues in driver fatigue research. In L. Hartley (Ed.), *Fatigue and driving: Driver impairment, driver fatigue, and driving simulation* (pp. 155-166). Washington, DC: Taylor and Francis.

Bureau de la sécurité des transports (1992, août). *Règlement sur le Bureau de la sécurité des transports*. Hull, QC : BST.

Bureau de la sécurité des transports (1994, mars). *Rapport d'enquête sur accident ferroviaire – Rapport numéro R94C0035*. Hull, QC : BST.

Bureau de la sécurité des transports (1994, novembre). *Rapport d'enquête sur accident ferroviaire – Rapport numéro R94D0191*. Hull, QC : BST.

Bureau de la sécurité des transports (1999). *Tableau 5 : Accidents aux passages à niveau et nombre de victimes par province - 1989-1998*. [En ligne]. Disponible : http://www.tsb.gc.ca/fr/stats/rail/1998/index.asp.

Caird, J.K. (in press). Intelligent transportation systems (ITS) and older drivers' safety and mobility. *Transportation in an aging society: A decade of experience*. Washington, DC: National Academy of Sciences, Transportation Research Board.

Caird, J.K., & Hancock, P.A. (2002). Left turn and gap acceptance accidents. In R.E. Dewar & R. Olson (Eds.), *Human factors in traffic safety* (pp. 613-652). Tucson, AZ: Lawyers and Judges Publishing.

Caird, J. K., Horrey, W., Chugh, J. S., & Edwards, C. J. (2000). *The effects of conformal and non-conformal vision enhancement systems on older driver performance.* (TP 13422E). Montreal, QC: Transportation Development Centre, Transport Canada.

Carroll, A.A., & Haines, M. (2002a). *North Carolina "sealed corridor" phase I safety assessment.* Transportation Safety Board [CD-ROM]. Washington, DC: TRB.

Carroll, A.A., & Haines, M. (2002b). *The use of photo enforcement at highway-rail grade crossings in the U.S.* Transportation Safety Board [CD-ROM]. Washington, DC: TRB.

Carroll, A.A., Multer, J., & Markos, S.H. (1995). *Safety of highway-railroad grade crossings: Use of auxiliary external alerting devices to improve locomotive conspicuity.* (Rep. No. DOT/FRA/ORD-95-13). Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Volpe National Transportation Systems Center.

Chugh, J. S., & Caird, J. K. (1999). In-vehicle train warnings (ITW): The effect of reliability and failure type on driver perception response time and trust. *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society Meeting* (pp. 1012-1016). Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.

Coghlan, M. (2000). Statistics: Do they tell the whole story? *Compte rendu de l'Atelier sur la recherche sur les passages à niveau, le 18 novembre 1999* (TP 13536) (pp. 1-17). Montréal, QC : Centre de développement des transports, Transports Canada.

Coleman, J., & Stewart, G.R. (1976). Investigation of accident data for railroad-highway grade crossings. *Transportation Research Record, 611*, 60-67.

Davies, J.M. (1996). Risk assessment and risk management in anaesthesia. *Bailliere's Clinical Anesthesiology, 10* (2), 357-372.

Dennett, D. (1995). *Elbow room: The varieties of free will worth wanting.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Dewar, R.E. (2002). Railroad grade crossing accidents. In R.E. Dewar & R. Olson (Eds.), *Human factors in traffic safety* (pp. 507-523). Tucson, AZ: Lawyers and Judges Publishing.

Ells, J.G., Dewar, R.E., & Milloy, D.G. (1980). An evaluation of six configurations of the railway crossbuck sign. *Ergonomics, 23* (4), 359-367.

Evans, L. (1985). Human behavior feedback and traffic safety. *Human Factors, 27* (5), 555-576.

Evans, L. (1988). Risk of fatality from physical trauma versus sex and age. *The Journal of Trauma, 28*, 368-378.

Evans, L. (1991). *Traffic safety and the driver*. New York, NY: Van Nostrand Reinhold.

Federal Railway Administration (1998). *Highway-rail crossing accident/incident and inventory bulletin: Calendar year 1997* (Rep. No. 18). Washington, DC: U.S. Department of Transportation.

Federal Railway Administration (2001). *Railroad safety statistics*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, FRA. [http://safetydata.fra.dot.gov/]

Fournier, G., & Turgeon, R. (2000). Nuts and bolts of crossings and safety systems. *Compte rendu de l'Atelier sur la recherche sur les passages à niveau, le 18 novembre 1999* (TP 13536) (pp. 43-72). Montréal, QC : Centre de développement des transports, Transports Canada.

Glennon, J.C. (1996). *Roadway defects and tort liability*. Tucson, AZ: Lawyers and Judges Publishing.

Goodman, M.J., Tijerena, L., Dents, D.R., & Wierwille, W.W. (1999). Using cellular telephones while driving: Safe or unsafe. *Transportation Human Factors, 1* (1), 3-42.

Hanafi, W. (1997a). *Étude sur l'application de matériau rétroréfléchissant sur les dispositifs de signalisation des passages à niveau* (TP 13128F). Montréal, QC : Centre de développement des transports, Transports Canada.

Hanafi, W. (1997b). *Study of adding reflective materials to crossing signs and posts* (TP 13128E). Montreal, QC: Transportation Development Centre, Transport Canada.

Hauer, E., & Persaud, B.N. (1986). Rail-highway grade crossings: Their safety and the effect of warning devices. *Proceedings of the 30th Annual American Association for Automotive Medicine* (pp. 247-262). Montreal, QC.

Heathington, K.W., Fambro, D.B., & Rochelle, R.W. (1984). Evaluation of six active warning devices for use at railroad-highway grade crossings. *Transportation Research Record 956*, 1-4.

Hellman, A.D., & Carroll, A.A. (2002). *Preliminary evaluation of the school street four-quadrant gate highway-railroad grade crossing*. Transportation Research Board [CD-ROM]. Washington, DC: TRB.

Hurt, H.H. Jr. (1981). *Motorcycle cause factors and identification of countermeasures* (Rep. No. DOT-HS-805-862-3). Washington, DC: U.S. Department of Transportation.

Kendall, K., & Morrissette, L. (1995, May). *Truck acceleration study* (TP 12490E). Ottawa, ON : Direction générale du transport des marchandises dangereuses, Transports Canada.

Kendall, K., & Morrissette, L. (1995, July). *Bus acceleration study*. Ottawa, ON : Direction générale du transport des marchandises dangereuses, Transports Canada.

Khawani, V. (2001). *Second train coming warning sign demonstration project*. Report for the Los Angeles County Metropolitan Transportation Authority. (Paper No. 01-2590.) [CD-ROM] Washington, DC: Transportation Research Board.

Klein, T., Morgan, T., & Weiner, A. (1994*). Rail-highway crossing safety fatal crash and demographic descriptors* (Pub. No. DOT HS 808 196). Washington, DC: U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration.

Korve, H.W., Farran, J.I., Mansel, D.M., Levinson, H.S., Chira-Chavala, T., & Ragland, D.R. (1996). *Integration of light rail transit into city streets*. Washington, DC: National Academy Press.

Landauer, T. K. (1991). Let's get real: A position paper on the role of cognitive psychology in the design of useful and usable systems. In J. M. Carroll (Ed.), *Designing interaction: Psychology at the human-computer interface* (pp. 60-73). New York, NY: Cambridge University Press.

Leibowitz, H.W. (1985). Grade crossing accidents and human factors engineering. *American Scientist, 73*, 558-562.

Lerner, N. (2002, February). Personnal communication.

Lerner, N. D., Ratte, D., & Walker, J. (1990). *Driver behavior at rail-highway crossings* (Rep. No. FHWA-SA-90-008). Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Leveson, N.G. (1995). Les logiciels dans la sûreté des systèmes ou l'esprit de sûreté. Paris : CEDOCAR.

Loumiet, J.R., & Jungbauer, W.G. (1995). Train accident reconstruction and FELA & railroad litigation. Tucson, AZ: Lawyers and Judges Publishing.

Matthews, G., Sparkes, T. J., Bygrave, H.M. (1996). Attentional overload, stress and simulated driving performance. *Human Performance, 9* (1), 77-101.

Meeker, F., Fox, D., & Weber, C. (1997). A comparison of driver behavior at railroad grade crossings with two different protection systems. *Accident Analysis and Prevention, 29* (1), 11-16.

Meister, D. H. (1989). *Conceptual aspects of human factors*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.

Moon, Y.J., & Coleman, F. (1999). Driver's speed reduction behavior at highway rail intersections. In *Paper Preprints of the 78th Annual Meeting of the Transportation Research Board* [CD-ROM]. Washington, DC: TRB.

Morrissey, J. (1980). *The effectiveness of flashing lights and flashing lights with gates in reducing accident frequency at public rail-highway crossings* (Rep. No. FRA-RRS-80-005). Waltham, MA: Input Output Services.

Mortimer, R. G. (1988). Human factors in highway-railroad grade crossing accidents. In G.A. Peters & B.J. Peters (Eds.), *Automotive engineering and litigation* (Vol. 2, pp. 35-69). New York, NY: Garland Law.

Moskowitz, H. (2002). Alcohol and drugs. In R. E. Dewar & R. Olson (Eds.), *Human factors in traffic safety* (pp. 177-207). Tucson, AZ: Lawyers and Judges Publishing.

Multer, J., Conti, J., & Sheridan, T. (2001). *Recognition of rail car retroreflective patterns for improving nighttime conspicuity.* (Rep. No. DOT/FRA/ORD-00/07). Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Volpe National Transportation Systems Center.

National Transportation Safety Board (1986). *Passenger/commuter trains and motor vehicle collisions at grade crossings* (PB86-917007, NTSB/SS-86/04). Washington, DC: NTSB.

National Transportation Safety Board (1996). *Highway/Railroad accident report: Fox River Grove, Illinois, October 25, 1995* (PB96-916202, NTSB/HAR-96/02). Washington, DC: NTSB.

National Transportation Safety Board (1998a). *Safety study: Safety at passive grade crossings, Volume 1: Analysis* (PB98-917004, NTSB/SS-98/02). Washington, DC: NTSB.

National Transportation Safety Board (1998b). *Safety study: Safety at passive grade crossings, Volume 2: Case studies* (PB98-917005, NTSB/SS-98/02). Washington, DC: NTSB.

Noyce, D.A., & Fambro, D.B. (1998). Enhanced traffic control devices at passive highway-railroad grade crossings. *Transportation Research Record 1648*, 19-27.

OCDE (1990). *Adaptations du comportement aux changements dans le système de transports routiers.* Paris : Organisation de coopération et de développement économiques, recherche en matière de transport routier.

Parsonson, P.S., & Rinalducci, E.J. (1982). Positive guidance demonstration project at a railroad-highway grade crossing. *Transportation Research Record 844*, 29-34.

Rasmussen, J. (1990). Human error and the problem of causality in analysis of accidents. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B327*, 449-462.

Rasmussen, J., Pejtersen, A., & Goodstein, L.P. (1994). *Cognitive systems engineering.* New York, NY: John Wiley.

Reason, J. (1993). *L'erreur humaine*. Paris : Presses universitaires de France.

Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Brookfield, VT: Ashgate.

Richards, H.A., & Bartoskewitz, R.T. (1995). The intelligent highway-rail intersection integrating ITS and ATCS for improved grade crossing operation and safety. In *Safety of Highway-Railroad Grade Crossings: Research Needs Workshop, Volume II – Appendices* (DOT/FRA/ORD-95/14.2). Washington, DC: Department of Transportation, Federal Railroad Administration.

Richards, S.H., & Heathington, K.W. (1986). Motorist understanding of railroad-highway grade crossing traffic control devices and associated traffic laws. *Transportation Research Record 1160*, 52-59.

Robertson, L.S. (1998). *Injury epidemiology: Research and control strategies* (2nd ed.). New York, NY: Oxford University Press.

Schulte, W. R. (1975). Effectiveness of automatic warning devices in reducing accidents at grade crossings. *Transportation Research Record 611*, 49-57.

Senders, J.W., & Moray, N.P. (1991). *Human error: Cause, prediction, and reduction*. Hillsdale, NJ: LEA.

Shinar, D., & Raz, S. (1982). Driver response to different railroad crossing protection systems. *Ergonomics, 25* (9), 801-808.

Smiley, A. (1990). The Hinton train disaster. *Accident Analysis and Prevention, 22* (5), 443-455.

Smiley, A. (2002). Fatigue and driving. In R. E. Dewar & R. Olson (Eds.), *Human factors in traffic safety* (pp. 143-175). Tucson, AZ: Lawyers and Judges Publishing.

Stanton, N., & Pinto, M. (2000). Behavioural compensation by drivers of a simulator when using a vision enhancement system. *Ergonomics, 43* (9), 1359-1370.

Stutts, J.C., Reinfurt, D.W., Staplin, L., & Rodgman, E.A. (2001). *The role of driver distraction in traffic crashes*. Washington, DC: AAA Foundation for Traffic Safety.

Tardiff, L., Parviainen, J., & Ede, W. J. M. (1996). Application of intelligent transportation systems (ITS)/advanced train control systems (ATCS) technologies at highway-rail level crossings (Res. Rep.). Ottawa, ON: Transportation Association of Canada.

Transport Canada (2002c). *Road Railway Grade Crossing Manual (Draft)*. [www.tc.gc.ca/railway/RSCC/CCSF.htm]

Transportation Safety Board (1991a, January). *Rail occurrence report number R91S0234* Hull, QC: TSB.

Transportation Safety Board (1991b, January). *Rail occurrence report number R91S0013*. Hull, QC: TSB.

Transportation Safety Board (1991, August). *Rail occurrence report number R91E0072*. Hull, QC: TSB.

Transportation Safety Board (1992, February). *Rail occurrence report number R92D0016*. Hull, QC: TSB.

Transportation Safety Board (1993, September). *Rail occurrence report number R93T0216*. Hull, QC: TSB.

Transportation Safety Board (1993, October). *Rail occurrence report number R93H0021*. Hull, QC: TSB.

Transportation Safety Board (1994, June). *Rail occurrence report number R94E0061*. Hull, QC: TSB.

Transportation Safety Board (1995, December). *Rail occurrence report number R95C0290*. Hull, QC: TSB.

Transports Canada (2000). *Compte rendu de l'Atelier sur la recherche sur les passages à niveau. le 18 novembre 1999* (TP 13536). Montréal, QC : Centre de développement des transports, Transports Canada.

Transports Canada (2002a). 1980-8 : Rail - Règlement sur les passages à niveau au croisement d'un chemin de fer et d'une voie publique. [http://www.tc.gc.ca/lois-reglements/GENERALE/L/lsf/menu.htm]

Transports Canada (2002b). *N° E-6 : Règlement sur la protection des devis d'installation et d'essai aux passages à niveau*. [http://www.tc.gc.ca/lois-reglements/GENERALE/L/lsf/menu.htm]

Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. D., Stansifer, R. L., & Castallen, N. J. (1979) *Tri-level study of the causes of traffic accidents: Final report-Executive summary* (Rep. No. DOT-HS-034-3-535-79-TAC(S). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

Walker, F. W., & Roberts, S.E. (1975). *Influence of lighting on accident frequency at highway intersections*. Ames, IA: Department of Transportation.

Ward, N.J., & Wilde, G.J.S. (1995a). Field observation of advance warning/advisory signage for passive railway crossings with restricted lateral sightline visibility: An experimental investigation. *Accident Analysis and Prevention, 27* (2), 185-197.

Ward, N.J., & Wilde, G.J.S. (1995b). A comparison of vehicular approach speed and braking between day and nighttime periods at an automated railway crossing. *Safety Science, 19*, 31-44.

Wierwille, W.W., & Tijerina, L. (1996). An analysis of driving accident narratives as a means of determining problems caused by in-vehicle visual allocation and visual workload. In A.G. Gale et al. (Eds.). *Vision in Vehicles – V.* (pp. 79-86). Amsterdam, NL: Elsevier Sciences.

Wigglesworth, E.C. (1979). The epidemiology of road-rail crossing accidents in Victoria, Australia. *Journal of Safety Research, 11* (4), 162-171.

ANNEXE A : MOTS CLÉS UTILISÉS POUR LA RECHERCHE

Catégorie	**Mots clés utilisés pour effectuer la recherche dans la base de données sur les accidents ferroviaires. Toutes les racines de mot clé ont fait l'objet d'une recherche comme l'indique les termes marqués d'une *.**
Distraction	DISTRACT* ATTEN* CONCENTRAT* STEREO CD CB (CITI BAND) CELL PHONE MOBILE CONVERS* TALK* HEAT* AIR COND* RADIO CHANG* (as in changing) ADJUST* CASSETT* PREOCCUP* NOT LOOKING
Fatal	FATAL KILL* DEAD DIED DEATH DECEASED
Intersection	INTERSECT* TURN TRAFFIC LIGHTS
Sightlines/Visibility/ Weather	SIGHT* VISIB* FOG SNOW GLARE DID NOT SEE SUN*
Intentional	BEAT DROVE AROUND RACED RACING RACE FAILED TO STOP DID NOT STOP GATE* SPEED* STOP*
Alcohol	ALCOHOL IMPAIRED DRUNK

Catégorie	**Mots clés utilisés pour effectuer la recherche dans la base de données sur les accidents ferroviaires. Toutes les racines de mot clé ont fait l'objet d'une recherche comme l'indique les termes marqués d'une *.**
Fatigue	FATIGUE SLEEPY TIRED DROWSY

Centre de développement
des transports

800, bd. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec)
H3B 1X9

www.tc.gc.ca/tdc/index_f.htm